

*PLANEJAMENTO  
E CONTROLE  
DA PRODUÇÃO*

Leonardo Lustosa

Marco A. Mesquita

Oswaldo Quelhas

Rodrigo Oliveira

# PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

4ª Tiragem



© 2008, Elsevier Editora Ltda.

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610 de 19/02/1998.  
Nenhuma parte deste livro, sem autorização prévia por escrito da editora,  
poderá ser reproduzida ou transmitida sejam quais forem os meios empregados:  
eletrônicos, mecânicos, fotográficos, gravação ou quaisquer outros.

*Copidesque:* Adriana Kramer  
*Editoração Eletrônica:* Estúdio Castellani  
*Revisão Gráfica:* Elisabete Lins Muniz

*Projeto Gráfico*  
Elsevier Editora Ltda.  
Conhecimento sem Fronteiras  
Rua Sete de Setembro, 111 – 16º andar  
20050-006 – Centro – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

Rua Quintana, 753 – 8º andar  
04569-011 – Brooklin – São Paulo – SP – Brasil

Serviço de Atendimento ao Cliente  
0800-0265340  
sac@elsevier.com.br

ISBN 978-85-352-2026-1

**Nota:** Muito zelo e técnica foram empregados na edição desta obra. No entanto, podem ocorrer erros de digitação, impressão ou dúvida conceitual. Em qualquer das hipóteses, solicitamos a comunicação ao nosso Serviço de Atendimento ao Cliente, para que possamos esclarecer ou encaminhar a questão.

Nem a editora nem o autor assumem qualquer responsabilidade por eventuais danos ou perdas a pessoas ou bens, originados do uso desta publicação.

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte.  
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ

---

P773 Planejamento e controle da produção / Leonardo Lustosa...  
[et al.]. - Rio de Janeiro : Elsevier, 2008 – 4ª reimpressão.  
il. ;

Apêndices  
ISBN 978-85-352-2026-1

1. Planejamento da produção. 2. Controle da produção.  
3. Engenharia da produção. I. Lustosa, Leonardo.

08-0604. CDD: 658.51  
CDU: 658.5.012.2

---

---

## Sobre os autores

**Leonardo Junqueira Lustosa** graduou-se em Engenharia Mecânica na Escola Politécnica da PUC (1969), é mestre e doutor pela Stanford University, tendo obtido os títulos em 1971 e 1979, respectivamente. Atua desde 1977 como professor no Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio, tendo ocupado os cargos de diretor do centro de computação (Rio Datacentro, 1980-1981) e do Departamento de Engenharia Industrial (1996-1998). Leciona disciplinas ligadas à gestão da produção e pesquisa operacional nos cursos de graduação e de pós-graduação, tendo orientado 43 dissertações de mestrado e 3 de doutorado. Orientou 10 trabalhos de formatura e 5 projetos de consultoria da Empresa Júnior PUC-Rio nas áreas de gerência da produção e em custos. Foi pesquisador visitante na Université de Montreal em 1982 e na École Centrale Paris em 1991 e 1995 em projeto de cooperação acadêmica. Seus interesses de pesquisa concentram-se em sistemas de gestão da produção, sistemas de apoio a decisões gerenciais e à modelagem matemática. Dedicou-se a pesquisas aplicadas à gerência de operações no setor de serviços, siderurgia e petróleo, áreas em que desenvolveu diversos projetos de cunho prático e prestou assessoria técnica. Publicou 40 trabalhos completos em congressos e 3 em periódicos ligados à Engenharia de Produção.

**Marco Aurélio de Mesquita** é Engenheiro Naval formado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1988), possui mestrado em Engenharia Naval – Transportes (1994) e doutorado em Engenharia de Produção (2001), também pela Escola Politécnica. É professor do Departamento de Engenharia de Produção da USP (desde 1990) e colaborador da Fundação Carlos Alberto Vanzolini, onde atua nas áreas de Planejamento e Controle da Produção e Gestão da Cadeia de Suprimentos, com interesse específico no desenvolvimento e implantação de sistemas de apoio à decisão e simulação computacional para a Gestão de Operações.

**Oswaldo Luiz Gonçalves Quelhas** graduou-se em Engenharia Civil pela UFF, é mestre em Engenharia Civil pela UFF (1984) e doutor em Engenharia de Produção pela COPPE UFRJ (1994). Atua profissionalmente como Professor Associado da Universidade Federal Fluminense nos cursos de graduação, mestrado e doutorado, coordenador do mestrado em Sistemas de Gestão – UFF e coordenador do Latec – Laboratório de Tecnologia, Gestão de Negócios e Meio Ambiente. Disciplinas ministradas: Planejamento e Controle da Produção, Gestão Estratégica de Empresas (ênfase em produção limpa), Sistemas de Gestão (Qualidade, Responsabilidade Social, Meio Ambiente, Saúde e Segurança do Trabalho) e tópicos especiais em produção.

**Rodrigo Jorge de Oliveira** possui MBA em Logística Empresarial pela FGV-Rio (2004), é mestre em Engenharia de Produção pela PUC-Rio (1999) e graduado em Engenharia Química pela UFRJ (1993). Atuou na BR Distribuidora em 1993 e como engenheiro em Furnas de 1994 a 1996. Foi consultor para implementação de sistemas de gestão empresarial (ERP da Datasul) de 1998 a 2001. Atuou como consultor de negócios na Nitriflex de 2002 a 2003. Atuou como gerente geral da fábrica do Spoleto Franhsing de 2004 a 2005. Em 2006 tornou-se o gerente de operações do Grupo Úmbria (Spoleto Culinária Italiana, Domino's Pizza Brasil e Koni Store). Em 2007 iniciou a área de Processos e Eficiência do Grupo, focada na busca de oportunidade de redução de custos e aumento de lucratividade e de produtividade das empresas do Grupo, que envolvem lojas próprias e franquias, fábrica e distribuidora própria etc. Atuou como professor de graduação pelo Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio de 2001 a 2003 e de mestrado pelo CCE/PUC-Rio de 2003 a 2005.

---

## Sobre os colaboradores

**Helder Gomes Costa** é graduado em Engenharia Mecânica pela UFF (1987), mestre e doutor em Engenharia Mecânica pela PUC-Rio (1991 e 1994, respectivamente). É professor associado da UFF, atuando tanto na graduação quanto na pós-graduação. Atualmente, concentra ações no Programa de Engenharia de Produção e no Laboratório de Gestão de Negócios e Meio Ambiente (LATEC). É coordenador adjunto do Programa de Engenharia de Suprimentos do PROMINP (PETROBRAS/ANP) na UFF. Consultor ad-hoc de avaliação de projetos da CAPES, do CNPq e da FAPERJ. Publicou diversos artigos em periódicos e congressos. É editor dos periódicos *Sistemas & Gestão e Organização & Estratégia*. É coordenador do Grupo de Pesquisas Auxílio Multicritério à Decisão (CNPq/UFF) e do projeto *Análise de Decisões em Ambientes Corporativos* (CNPq/UFF). Fundou e é membro do Grupo de Pesquisa “Análise e Melhoria de Processos produtivos” UENF/CNPq. Desde 1998 é bolsista de Produtividade de Pesquisa do CNPq. Atualmente é membro da ABEPRO e da SOBRAPO.

**Ruben H. Gutierrez** é Engenheiro de Produção. Doutor COPPE/UFRJ ênfase em Estratégias de Negócios, mestre COPPE/UFRJ em Projetos Industriais e Regionais. Professor e pesquisador UFF 15 anos, lecionando no mestrado, MBA, graduação e também doutorado. Possui 12 anos de experiência empresarial (mercado aberto) onde foi executivo em 3 multinacionais e consultor de várias empresas. Foi diretor e executivo em ONG’s voltadas para o Desenvolvimento Regional /Comunitário e também em ONG’s envolvidas com Educação Integral, Saúde e Família. Liderou programas de Otimização de Seqüências em Plantas de Laminado (chapas) de Aço usando PCP e OSM. Liderou projeto de Otimização de Cargas Metálicas para Fornos Elétricos usando PL (fábrica de aços). Co-liderou projeto de reaproveitamento de “Lingoteiras” (fábrica de aços). Co-liderou projeto de implantação de MRP (1982), B.O.M. (Lista de Materiais) e Tecnologias de Grupo. Participou de programas de Informatização da Logística Estoques (1983) em Mineradora (5 armazéns com 85.000 itens cada). Participou do projeto de Informatização da Logística Compras. Participou do projeto de manutenção e logística de frotas de locomotivas e vagões. Participou dos projetos de manutenção e logística de frotas de caminhões mineradores e frotas de executivos, entre outros. Participou no planejamento, desenho, testes e programação em BASIC 2, COBOL E RPG-II destes subsistemas logísticos e de manutenção. Programou um sistema de PL em FORTAN IV (fábrica de aços).

**Rogério Atem de Carvalho** é bacharel em Informática, mestre e doutor em Engenharia de Produção. É professor e coordenador de Pesquisa e Inovação Tecnológica do Cefet Campos, além de colaborador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual do Nor-

te Fluminense. Atua desde a fundação como representante do Brasil e chair do capítulo local do Working Group on Enterprise Information Systems da IFIP/Unesco, tendo sido premiado duas vezes consecutivas (2006 e 2007) pela IFIP e pela IEEE por sua pesquisa em ERP Livres, área na qual foi co-autor do primeiro artigo acadêmico publicado. Publicou ainda diversos artigos e capítulos de livros nas áreas de ERP, Sistemas de Suporte à Decisão, Engenharia de Software e Gerência de Projetos no Brasil e exterior. É editor associado do periódico Enterprise Information Systems e membro da Abepro, IFIP e IEEE.

**Mara T. Salles** é Engenheira Civil, com especialização em Marketing, mestrado em Engenharia Civil e doutorado em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ com ênfase em Projeto de Produtos e Processos. Professora e pesquisadora da UFRJ e da UFF há 11 anos. Participa do corpo docente da UFF nos Cursos de mestrado em Engenharia de Produção (profissional e acadêmico) e Engenharia Civil, além dos cursos de graduação de Engenharia de Produção e do curso de graduação de Engenharia de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Atua em consultoria em Empresas nas áreas de Estratégia, Marketing e Desenvolvimento de Produtos e Processos. Atua como coordenadora de projetos, junto à FAPERJ e CNPq, dando apoio à pesquisa no Programa Qualidade Rio da Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços-SEDEIS, do Estado do Rio de Janeiro.

**Luiz Cesar Nanci** é doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF), mestre em Engenharia de Produção pela mesma universidade, especialista em Logística Empresarial pela FUNCEFET-RJ, e graduado em Engenharia de Produção pela UFF. Publicou 3 artigos em revistas nacionais indexadas e 12 artigos nos principais congressos nacionais sobre Pesquisa Operacional, Logística e Engenharia de Produção. Atualmente, é professor das disciplinas de Administração da Produção I e II, Logística e Administração de Materiais, Gestão da Qualidade, Tópicos Especiais em Produção e Monografias, dos cursos de Administração das universidades Candido Mendes (UCAM) Ipanema e Unilasalle – Niterói. É coordenador do Escritório Modelo de Gestão da UCAM-Ipanema. No âmbito da pós-graduação, é professor das disciplinas Gestão de Processos e Gestão de Operações dos cursos de MBA do Latec-UFF, além de ministrar cursos *in-company*. Sua experiência profissional conta com 3 anos na indústria de petróleo e gás como Black Belt, no cargo de gerente de melhoria de processos na FMC Technologies, onde implementou a metodologia Seis Sigma. Atuou também como analista de planejamento logístico na Infoglobo, e como consultor autônomo em empresas do setor hospitalar, construção civil e entretenimento.

**Victor Gomes Simão** é graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (2006), mestrando em Sistemas de Gestão pelo Laboratório de Gestão de Negócios e Meio Ambiente (LATEC-UFF), com foco em pesquisas na área de Gestão Ambiental. Especializa-se atualmente como engenheiro de Planejamento de Empreendimentos com ênfase em petróleo e gás pelo PROMINP (PETROBRAS/ANP) no SENAI-RJ. Auditor Líder em Sistema de Gestão da Qualidade segundo a ISO 9001:2000, exerce atualmente o cargo de pesquisador-tecnologista na Diretoria da Qualidade do Inmetro. Já atuou como coordenador da qualidade na indústria de petróleo e gás e na gerência de Certificação de Produtos e Sistemas de Gestão da ABNT, onde participou de comitês técnicos de certificação e coordenou desenvolvimento de projeto de Certificação da Acessibilidade de Edificações. Atuou durante 2 anos como bolsista de pesquisa e monitor da disciplina de Planejamento e Controle da Produção no curso de graduação em Engenharia de Produção na UFF, onde desenvolveu material didático e apoio na implementação de metodologia de gestão de estoques e planejamento de produção no laboratório de manipulação da Farmácia Universitária da UFF.

**Augusto Sergio Mendes da Silva** formou-se em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia da UFF em 1973, especialização em Engenharia de Equipamentos pela Petrobras em 1974. É mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense em 2000. Trabalhou de 1974 a 1998 na Petrobras implantando empreendimentos nas áreas de produção, transporte e processamento de petróleo e gás natural. Atualmente presta consultoria na implantação de empreendimentos industriais na área de energia.

**Luiz Felipe Scavarda** é doutor e mestre em Engenharia de Produção pela PUC-Rio (2003 e 1999) e graduado em Engenharia Elétrica de Produção pela PUC-Rio. Foi consultor do Instituto Fraunhofer de Produção e Automação (IPA) na Alemanha entre 2000 e 2002. Coordenou diversos projetos internacionais patrocinados por diversas instituições, como: Banco Mundial, Comunidade Européia e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Também possui experiência profissional em ensino (graduação e pós-graduação), pesquisa e treinamento em empresas. É Professor do DEI/PUC-Rio desde 2002.

**Gilberto Freire** é Engenheiro de Produção formado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1976), possui mestrado em Engenharia de Produção (2007), também pela Escola Politécnica. É professor do Instituto Mauá de Tecnologia em disciplinas de graduação e pós-graduação da habilitação de Engenharia de Produção Mecânica. Possui, ainda, 22 anos de atuação em vários cargos da operação de indústria de autopeças, no Brasil e no exterior. Possui interesse específico nas áreas de Qualidade, Logística e Programação da Produção.



# Introdução

OSVALDO L.G. QUELHAS • HELDER GOMES COSTA • LEONARDO J. LUSTOSA • LUIZ CESAR NANJI • LUIZ FELIPE SCAVARDA • MARA TELLES SALLES • MARCO AURÉLIO DE MESQUITA  
• RODRIGO JORGE DE OLIVEIRA • ROGÉRIO ATEM DE CARVALHO • RUBEN H. GUTIERREZ  
• VICTOR GOMES SIMÃO

## 1.1 INTRODUÇÃO

A produção de bens de consumo, como a conhecemos hoje, somente teve início com a Revolução Industrial, quando foi possível produzir e criar meios para o consumo em massa. Os sistemas de PCP (Planejamento e controle da produção) evoluíram como fruto da evolução da própria ciência da Administração, desde os esforços de Frederick W. Taylor e Henri Fayol, na primeira década do século XX, até os dias de hoje.

No início do século XX, Taylor elaborou os princípios da administração científica, que tratava a administração como ciência baseada na observação, medição, análise e aprimoramento dos métodos de trabalhos. Seus trabalhos permitiram o desenvolvimento de inúmeros outros, dentre os quais podemos citar Frank Gilbreth, que introduziu os estudos de movimentos e tempos, e Henry Gantt, que desenvolveu um sistema de programação de produção baseado em gráficos e cálculos, amplamente difundido até os dias de hoje (daí o popular Gráfico de Gantt). Gantt foi um dos primeiros a desenvolver um sistema de PCP baseado em restrições de capacidade e tempo, cujos cálculos eram elaborados manualmente.

Ainda nas primeiras décadas do século XX, o empresário Henry Ford aplicou os princípios desenvolvidos para promover um dos maiores avanços da história da indústria: a produção em massa de automóveis, utilizando o conceito de linhas de montagem móveis e peças intercambiáveis.

Com o avanço tecnológico do período pós-guerra (década de 1950), a complexidade dos bens produzidos cresceu consideravelmente, levando à necessidade de cálculos cada vez mais difíceis de serem realizados apenas pelo cérebro humano. Na década de 1960, diversos pesquisadores, dentre os quais podemos citar Joe Orlicky, Oliver Wight e G. W. Plossl, desenvolveram métodos similares para realizar esses cálculos, que foram compilados e divulgados no meio acadêmico sob uma mesma teoria: o MRP (*Materials Requirements Planning*). Na década de 1970, o uso de computadores no ambiente de produção abriu uma nova perspectiva para os softwares tipo MRP, que foram amplamente difundidos a partir de então.

Uma evolução natural do MRP foi o surgimento do MRP II, na década de 1980. Sob a pressão de redução de custos, não era mais suficiente garantir “somente” os materiais em tempo, mas também outros recursos de produção, como pessoas, máquinas, capital etc., originando o chamado sistema MRP II (*Manufacturing Resources Planning*), que considera a capacidade dos recursos produtivos. Ainda assim, a geração de planos viáveis de produção ainda dependia muito da ação humana, intervindo no sistema ao atrasar ou adiantar ordens de produção e de compras.

Na década de 1990, com a internacionalização do comércio e abertura de novos mercados (globalização), as grandes empresas multinacionais iniciaram a popularização dos sistemas do tipo ERP (*Enterprise Resources Planning*), em que, além dos recursos de produção, todos os outros re-

curso da empresa podem ser planejados e controlados. Os ERP eram tipicamente divididos em módulos, tais como contabilidade, finanças, vendas etc., sendo que algumas empresas nem mesmo chegavam a usar o módulo de produção, utilizando “apenas” o poder integrador da ferramenta. A padronização foi um dos grandes trunfos dos sistemas ERP, o que já gerava economias consideráveis para as grandes empresas. A potencial aplicação na área de produção só viria a ser consagrada anos depois.

Com a crescente pressão por *lead-times* menores, atendimento aos prazos e preços baixos, módulos de otimização de produção, também conhecidos como APS (*Advanced Planning System*), estão se difundindo amplamente nas indústrias e também no setor de serviços. Tais módulos vêm sendo desenvolvidos desde o final de década de 1990, e utilizam programação matemática para solução de problemas de programação de produção, considerando a maior parte das restrições presentes nos sistemas e subsistemas.

Para que a execução das atividades planejadas ocorra sem erros, enfoque especial tem sido dado à aquisição, movimentação e armazenagem de materiais. Atualmente, tais atividades costumam ser resumidas pelo termo “Logística” ou “Gestão da Cadeia de Suprimentos”. A maioria dos sistemas atuais do tipo ERP oferece módulos que tratam dessa necessidade. Um dos grandes desafios enfrentados pelas empresas na implementação desses módulos é sua natureza multifuncional, que se aproxima cada vez mais da gestão por processos, e não mais por função administrativa.

No campo metodológico, a influência japonesa nos sistemas de PCP, desde o início da década de 1980, faz-se visível principalmente pelo sistema Toyota de produção, que contribuiu para a redução drástica dos estoques na cadeia produtiva. A filosofia *Just-in-time* (JIT), baseada no sistema *Kanban* é um dos pilares dessa influência e tem sido aplicada em conjunto com os sistemas MRP/MRP II. Atualmente, o paradigma da Produção Enxuta (*Lean Production*) incorpora diversas técnicas consagradas pela Teoria das Restrições (TOC), Gestão da Qualidade Total e pelo próprio JIT, de modo a alcançar alta flexibilidade e alto volume de produção, combinando vantagens da produção em massa e da customização.

Em paralelo a todo esse desenvolvimento tecnológico e metodológico, questões ambientais de sustentabilidade e de responsabilidade social assumem importância vital para os sistemas de gestão das empresas, impactando diretamente as funções de produção, em especial o PCP. Controle de resíduos, reciclagem e projetos ambientalmente sustentáveis são apenas alguns tópicos que determinam uma fabricação ambientalmente responsável, em meio ao crescimento de regulamentações cada vez mais complexas e com punições severas.

## 1.2 APRESENTAÇÃO DO LIVRO

Compreendido o histórico do PCP, sua complexidade e interações entre diversas áreas da produção, a principal justificativa para o desenvolvimento deste livro foi então a necessidade de proporcionar uma visão integrada de conceitos, modelos e técnicas apresentadas e suas aplicações no planejamento e controle da produção de bens e serviços. Além disso, nossa intenção é esclarecer ao leitor o papel integrador exercido pelo PCP entre as funções produtivas e as demais funções a elas relacionadas, tais como suprimentos, produção, manutenção e distribuição.

A forma como as áreas de conhecimento da função PCP são descritas traz uma visão da organização como um todo, seu papel e sua conexão com o ambiente. Faz sentido pensá-las simultaneamente, de modo integrado e coeso, para se ter uma compreensão do posicionamento e das direções possíveis para a empresa dentro do ambiente em que se encontra e, ainda, das características organizacionais atuais ou necessárias que, junto com as características ambientais, determinam seu comportamento e desempenho.

Outro ponto que merece destaque na gestão moderna e ágil da produção diz respeito aos avanços da Tecnologia da Informação (TI) que proporcionam ao tomador de decisão uma visão integrada

dos processos de decisão da empresa, como também dos seus parceiros na cadeia de suprimentos. Além das potencialidades do uso de TI como suporte ao PCP e à logística integrada da cadeia de suprimentos, o livro apresenta ainda os modelos matemáticos de apoio à decisão, discutindo suas potencialidades e limitações práticas, até porque os avanços da TI e, em particular, da indústria de software, disponibilizam hoje ferramentas importantes de apoio à decisão em planejamento da produção e logística.

Finalmente, também aborda conceitos de PCP voltados a empresas de prestação de serviços, considerando que tais atividades estão se tornando cada vez mais importantes no cenário econômico atual. Para tanto, a cada capítulo, quando o assunto em questão for aplicável às atividades de serviços, são tecidos comentários, propostos exercícios e exemplificadas operações de serviços. Um capítulo inteiro é dedicado à determinação das possíveis estratégias de produção em serviços. Além disso, o livro contém dois apêndices com técnicas especificamente utilizadas para operações de serviços e indicadores de controle utilizados na indústria brasileira do petróleo.

Esta obra igualmente fornece condições para que um gerente de produção possa analisar, reformular e implementar uma estratégia de PCP, considerando e englobando todas as partes da organização envolvidas com a produção e sua integração com a estratégia de negócios. Propicia também condições para uma análise objetiva do desempenho e para a especificação das áreas produtivas organizacionais e das mudanças na organização da produção necessárias para atingi-los.

Dessa forma, o livro enfrenta dois desafios: a apresentação clara da teoria já consolidada sobre PCP e a construção de uma estrutura para sua aplicação à função de produção na empresa, sob a perspectiva de um diferencial competitivo do negócio.

### 1.3 ABRANGÊNCIA E ESTRUTURA DO LIVRO

Este livro trata especificamente de planejamento, programação e controle dos sistemas produtivos. Há um capítulo sobre logística particularmente para atualizar os leitores sobre o conceito presente nas organizações contemporâneas, em que PCP e Logística compõem a gestão da cadeia de suprimento. Todos os capítulos foram escritos tendo como princípio sua integração, assim, são feitas citações apropriadas em cada capítulo sobre a localização de conteúdos detalhados, porém apenas citados naquele instante. Ao final de cada capítulo, questões, exercícios e estudos de caso são apresentados de forma a auxiliar o leitor na fixação e aplicação de conceitos, sempre com o objetivo de aprofundar o entendimento sobre a disciplina de PCP.

Visando ser fiel à proposta estabelecida, o livro está estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 1: faz uma contextualização histórica do tema para então apresentar o livro e seus objetivos.
- Capítulo 2: busca posicionar o PCP em um contexto estratégico, destacando a contribuição do PCP para desempenho operacional, que, juntamente com a estratégia empresarial, compõe o pré-requisito para a organização se manter competitiva. Destina-se ainda a apresentar os conceitos de níveis hierárquicos estratégicos da produção e gerenciamento da cadeia de produção.
- Capítulo 3: aborda os princípios conceituais das principais filosofias do PCP.
- Capítulo 4: apresenta as técnicas de previsão de demanda e seu papel no PCP.
- Capítulo 5: aborda o gerenciamento dos estoques de materiais.
- Capítulo 6: estuda o *planejamento agregado*.
- Capítulo 7: trata do Planejamento da Necessidade de Materiais (MRP)
- Capítulo 8: elabora um roteiro didático para a programação da produção (seqüenciamento, programação da capacidade finita, APS, PERT/COM) com dimensionamento de pessoal.

- Capítulo 9: apresenta os *sistemas de controle da produção*: desde os sistemas clássicos ao modelo Toyota, OPT (*Optimized Production Technology*), TOC (Teoria das Restrições), *Kanban*, Emissão de Ordens, Produção Puxada e Produção Enxuta.
- Capítulo 10: apresenta os conceitos de *logística* e sua integração com o PCP.
- Capítulo 11: aborda os *sistemas de informação* inerentes ao gerenciamento do PCP e da cadeia de suprimentos.
- Capítulo 12: elabora um mapeamento dos conceitos e exemplos sobre o *planejamento da capacidade*, em estratégias de longo prazo e de monitoramento da capacidade.
- Capítulo 13: são apresentadas técnicas e recursos para o PCP aplicado à produção de serviços.

Os apêndices apresentam conteúdos adicionais sobre Métodos de Decisão, desenvolvidos para apoio a decisões em ambiente multidecisor e multicritério e o uso de indicadores para planejamento e controle de empreendimentos na indústria de petróleo e gás.

#### 1.4 EXERCÍCIOS

1. O Institute for Operations Research and Management Sciences (INFORMS) é uma organização profissional para pessoas da indústria e dos meios acadêmicos que estão interessadas em pesquisa operacional. Visite o site do grupo ([www.informs.org](http://www.informs.org)) e localize as páginas Web correspondentes à sua publicação *OR/MS Today*. Encontre e resuma brevemente um dos artigos on-line dessa publicação que trate do tema PCP.
2. Defina PCP. Defina também o papel do PCP para a organização.

# O PCP no contexto estratégico

LUIZ CESAR NANCI • OSVALDO L.G. QUELHAS

ROGÉRIO ATEM DE CARVALHO • VÍCTOR GOMES SIMÃO

## ■ OBJETIVOS DE APRENDIZADO

Ao final deste capítulo, o leitor deverá ter uma compreensão sobre como o PCP se insere no contexto estratégico da organização, além de conhecer os diferentes níveis hierárquicos do planejamento e controle da produção.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Como foi destacado no Capítulo 1, o processo de globalização iniciado nos anos 90 alterou a concorrência de local para mundial. Após longo período de protecionismo, as empresas brasileiras estão expostas à concorrência mundial. Isso torna necessário o pleno atendimento de expectativas e necessidades dos clientes, sob pena de a empresa não sobreviver em um ambiente de intensa competição.

Por outro lado, o avanço tecnológico proporcionou vertiginoso acréscimo nos cinco objetivos de desempenho da produção, quais sejam: qualidade, confiabilidade, velocidade, flexibilidade e custos.

Outro fenômeno recente é o crescimento do número de pequenas empresas. As pequenas empresas surgiram, entre outros motivos, devido às novas oportunidades de mercado, como consequência da crescente exigência dos consumidores. As pequenas empresas atendem necessidades específicas, denominadas “nichos” de mercado, não explorados pelas grandes empresas, o que garante sua sobrevivência. Um dos “nichos” de mercado a serem explorados pelas micro e pequenas empresas são os processos de remanufatura, da logística reversa, de reciclagem de produtos, inerentes ao momento atual em que se encontra nosso planeta: perante exigências de adaptação dos sistemas produtivos à futura escassez de recursos não-renováveis e às alterações do clima.

Adicionalmente, fornecedores devem ser desenvolvidos, e a matéria-prima proveniente de recursos naturais não-renováveis deve ser substituída por recursos renováveis. Também é necessário implantar a produção mais limpa, para atender às demandas de adesão das empresas aos princípios do desenvolvimento sustentável, ou comumente denominado, “sustentabilidade empresarial”. A utilização de recomendações internacionais para políticas de gestão do ambiente interno nas organizações – como a implantação da ISO26000 que define os requisitos de práticas sociais a serem seguidas por fabricantes e seus fornecedores – influencia e é impactada pelos métodos do Planejamento e Controle da Produção.

Nesse contexto, as empresas têm de adaptar seus sistemas para a melhoria contínua da produtividade, criando sistemas flexíveis, sustentáveis, com rapidez de projeto e desenvolvimento de novos produtos, além de *lead time* e estoques reduzidos objetivando o atendimento das necessidades do cliente.

A associação desses aspectos traz como consequência o aumento da importância de aperfeiçoamento dos sistemas de produção. Assim, na busca por excelência, percebe-se a influência de três fun-

ções do PCP: o planejamento, a programação e o controle. Ao comandar, coordenar e controlar o processo produtivo tais funções são imprescindíveis para a sobrevivência da empresa.

Eis mais um desafio para os engenheiros de produção brasileiros: desenvolver ações na pequena empresa para dotá-la de condições competitivas no mercado nacional e internacional. Este livro busca auxiliar a consecução desse desafio.

A Figura 2.1, apresentada a seguir, ilustra o “mapa das funções” de planejamento, programação e controle de um sistema de produção, além de dar uma visão geral dos assuntos tratados neste livro. Ela permite visualizar as relações de interdependência entre os assuntos, as principais entradas e saídas, assim como o ponto da hierarquia do planejamento em que ocorrem. Vale ressaltar que nem todas as relações existentes são mostradas, pois o objetivo é apresentar as relações mais relevantes sob o ponto de vista do planejamento e controle do sistema de produção.

Através desse mapa de funções, pode-se observar a inserção dos diferentes aspectos do PCP sob uma ótica mais abrangente e estratégica. Esse mapa encontra-se organizado à luz do cruzamento de duas idéias centrais: os níveis hierárquicos do planejamento da produção e os horizontes de tempo associados a cada um dos níveis hierárquicos. A compreensão desse mapa é relevante, pois ele será adotado em outros pontos deste texto, de forma a situar o leitor e destacar os diferentes assuntos específicos abordados ao longo do livro.

É importante ressaltar que a Figura 2.1 destaca que o PCP deve estar alinhado e orientado pelas definições de: planejamento estratégico; marketing; projeto do produto e projeto do processo, sendo que o marketing e planejamento estratégico são ações de planejamento articuladas em um horizonte de longo prazo. Esta figura também destaca que o PCP ocorre em diferentes horizontes de tempo: do longo prazo ao curto prazo.

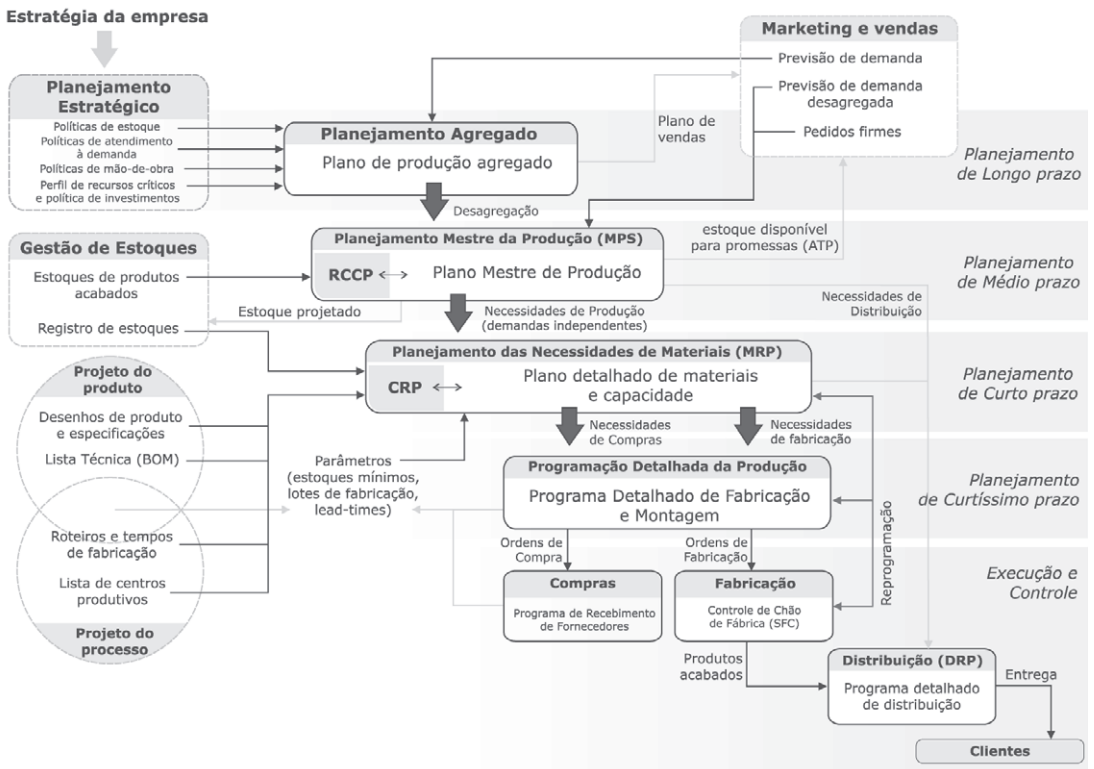


Figura 2.1. O contexto do PCP no âmbito dos diferentes níveis de planejamento.

A Figura 2.2 apresenta uma forma alternativa de se representar o PCP como um elemento estratégico na organização.

### 2.1.1 Exemplo para fixação: o papel do PCP para o negócio da organização

Considere o exemplo dos resultados de uma organização apresentados na Tabela 2.1. A lógica organizacional indica a busca da melhoria dos resultados, ou seja, maior lucro.

A expressão  $Lucro = receitas - despesas$ , ilustrada na Tabela 2.1, é clássica e permite a visualização das alternativas para melhoria dos resultados. A estratégia para aumentar os lucros possui algumas alternativas, dentre elas: aumentar a receita ou reduzir o custo de produção.

Na Tabela 2.2 apresenta a demonstração dos resultados referentes à operação de uma organização fictícia. Nessa tabela, pode-se observar que o lucro bruto (antes do pagamento de impostos e outras despesas) é \$100. Nos Tabela 2.2 e 2.3 constam as alternativas citadas: aumento da receita ou redução dos custos de produção.

Na Tabela 2.2 apresenta o demonstrativo da primeira alternativa. Nesse caso, existem duas hipóteses: majorar o preço de venda do produto ou serviço ou aumentar a quantidade vendida aos consumidores. A primeira hipótese implica saber se o cliente concorda em pagar mais pelo produto ou serviço, o que, como consequência, pode induzi-lo a procurar outro fornecedor com menor preço. A hipótese de aumentar a quantidade vendida, no exemplo apresentado, implica aumentar igualmente os custos dos produtos ou serviços vendidos em 20%. O resultado, como demonstrado, proporciona incremento de 40% no resultado (lucro) da organização.

Na Tabela 2.3 exemplifica que uma redução de custos em 10% ocasiona melhoria do resultado (lucro bruto) em 80%.

Comparando os dois demonstrativos, fica evidente a melhor alternativa: agir na redução de custos de produção, ou seja, na melhor produtividade de recursos (mão-de-obra, matéria-prima, tempo de produção etc.).

Adicionalmente, os esforços para compreender o processo produtivo, conhecer suas peculiaridades e buscar soluções com redução de custo e tempo de produção ou de incremento da produtividade

O PCP é responsável pela coordenação e aplicação dos recursos produtivos de modo a atender da melhor forma possível aos planos estabelecidos nos níveis estratégico, tático e operacional



Figura 2.2. Planejamento e Controle da Produção: base para a competitividade empresarial.

Tabela 2.1 Demonstrativo de Resultados

Vendas		\$ 1.000
Custos dos Produtos Vendidos		
Custo Direto: Materiais	(\$ 400)	
Custo Direto: Mão de Obra	(\$ 200)	
Custos Indiretos de Produção	(\$ 200)	
CPV Total		(\$ 800)
Despesas Operacionais		(\$ 100)
Lucro Bruto		\$ 100

Tabela 2.2 Demonstrativo de Resultados (aumento do faturamento, 20%)

Vendas		\$ 1.200
Custos dos Produtos Vendidos		
Custo Direto: Materiais	(\$ 480)	
Custo Direto: Mão de Obra	(\$ 240)	
Custos Indiretos de Produção	(\$ 240)	
CPV Total		(\$ 960)
Despesas Operacionais		(\$ 100)
Lucro Bruto		\$ 140

de dos recursos permitem à organização adquirir competência para, continuamente, prover sua operação de recursos de melhoria contínua. Ou seja, as pessoas envolvidas nessa busca de redução de custos de produção “aprendem” a pensar em competitividade através de redução de custos e de melhoria operacional, imprescindíveis para a organização na competição global e local; em outras palavras, “aprendem a aprender”. E esse esforço do pessoal de gestão da produção adiciona valor à organização.

O PCP influi no processo contemporâneo de competitividade das organizações, pois com seus sistemas e com o conhecimento do processo, viabiliza e torna exequíveis os princípios de gestão visando a excelência e a contínua busca por melhorias.

## 2.2 POSICIONAMENTO ESTRATÉGICO DA ORGANIZAÇÃO

O posicionamento estratégico da organização influencia em larga escala a sua capacidade de competir. Na elaboração da estratégia organizacional, é importante identificar os fatores críticos de sucesso. Esses fatores estão associados ao negócio da organização<sup>1</sup> (variáveis externas ou ambientais) e ao seu desempenho em variáveis sobre as quais esta tem controle (variáveis internas). São, portanto, classificados em externos e internos.<sup>2</sup> Diversos conjuntos de Fatores Críticos de Sucesso (FCS) têm sido apresentados na literatura por diferentes autores. A título de ilustração, apresentamos a seguir um conjunto de fatores considerados de importância crucial para a identificação do posicionamento estratégico da organização. Observe que vários desses aspectos estão diretamente associados ao PCP.

- Exemplo de fatores externos:
  - Ambiente legal
  - Condições políticas
  - Disponibilidade de energia, mão-de-obra qualificada, matéria-prima, água etc.
  - Nível de competição na indústria ou setor produtivo
  - Poder aquisitivo do mercado
  - Taxas de juro e de câmbio
  - Taxas de impostos
  - Satisfação dos clientes
  - Segurança pública
  - Regulamentos governamentais sobre emissão de gases causadores do efeito estufa
  - Permissão de operação (necessidade de audiência pública em negociação com a comunidade)
  - Sistemas de transporte (para escoamento da produção e para o recebimento de matéria-prima)
  - Tecnologia
  - Valor do salário mínimo

**Tabela 2.3** Demonstrativo de Resultados (redução de custos, 10%)

Vendas		\$ 1.000
Custos dos Produtos Vendidos		
Custo Direto: Materiais	(\$ 360)	
Custo Direto: Mão de Obra	(\$ 180)	
Custos Indiretos de Produção	(\$ 180)	
CPV Total		(\$ 720)
Despesas Operacionais		(\$ 100)
Lucro Bruto		\$ 180

<sup>1</sup> Setor industrial ou de serviços, ramo produtivo no qual a organização se insere.

<sup>2</sup> Um exemplo de técnica que se caracteriza por esse tipo de abordagem é a SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*), também conhecida pela sigla FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças). As variáveis externas são usualmente classificadas em ameaças ou oportunidades. Já o desempenho da organização nas variáveis internas é classificado como ponto forte (força), ponto neutro ou, ainda, ponto fraco (fraqueza).



- Responsabilidade socioambiental
- Relações com os stakeholders
- Exemplo de fatores internos:
  - Custos operacionais
  - Capacidade da planta
  - Capacitação e qualificação da mão-de-obra
  - Carteira de clientes
  - Fluxo de caixa
  - Gestão da produção
  - Instalações, equipamento e processos
  - Localização da planta
  - Métodos de controle
  - Produtos e serviços
  - Qualidade de produtos e processos
  - Recursos tecnológicos
  - Sistema de informações gerenciais
  - Sistema de distribuição de produtos
  - Sistema de seleção de fornecedores
  - Política de gestão de pessoas

Esses conjuntos de fatores devem ser considerados apenas como uma ilustração, visto que eles variam em função do setor produtivo ou do setor de negócios. Assim, outros aspectos ou fatores podem (e devem) ser considerados como fatores críticos para o sucesso organizacional. Por exemplo: boas práticas de relacionamento com as partes interessadas (ética e transparência organizacional); patentes; relações com funcionários; imagem da empresa ou do produto; canais de distribuição; relações com distribuidores; manutenção de instalações, equipamentos e localização (acesso a recursos e aos mercados).

Apesar dos pontos em comum entre a produção de bens e de serviços, existem peculiaridades que os diferenciam. Apresentam-se, como exemplo, a seguir alguns aspectos relevantes no contexto do Planejamento e Controle da Produção de serviços:

- Quais são as prioridades competitivas para os serviços:
  - Baixos custos
  - Entrega no prazo<sup>3</sup>
  - Flexibilidade
  - Alta qualidade
- Atenção ao *trade-off* custo *versus* qualidade
- Posicionamento estratégico para os serviços
- Tipo de design do serviço
- Nível de tangibilidade/intangibilidade

A avaliação da organização segundo esses fatores permite a elaboração de estratégias focadas para a melhoria do posicionamento competitivo da organização. Uma estratégia produtiva consiste na definição de um conjunto de políticas, no âmbito da função produção, que dá sustentação à posição competitiva da empresa. A estratégia produtiva deve especificar como a produção suportará uma vantagem competitiva, e como complementará e apoiará as demais estratégias funcionais.

<sup>3</sup> Alguns autores denotam esse fator por “entrega rápida”. Isso pode levar o leitor a entender que uma entrega “antes do prazo combinado” deve ser objetivo do sistema de produção, pois deixaria o cliente mais satisfeito, o que nem sempre é verdade. O que se deve buscar é entregar o produto ou serviço no momento desejado pelo cliente.

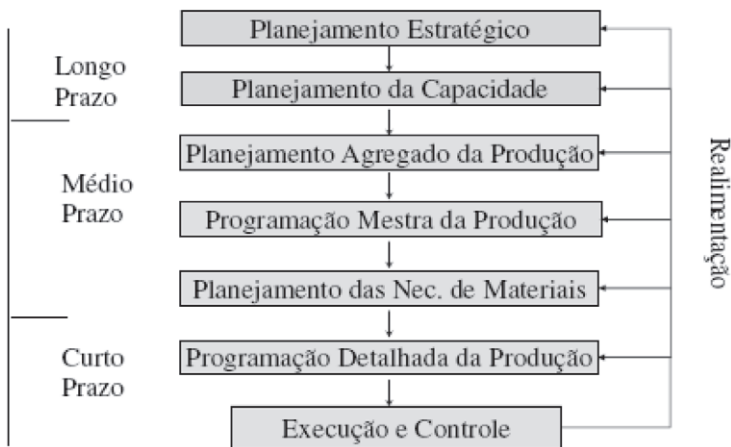
## 2.3 NÍVEIS HIERÁRQUICOS DO PCP

Conforme destacado no início desta seção, o PCP atua nos três níveis hierárquicos da organização, desenvolvendo atividades de idealização, elaboração, controle e operação, conforme sintetizado pela Tabela 2.1.

**Tabela 2.1.** Atuação do PCP nos três níveis estratégicos

Nível Estratégico	São definidas políticas estratégicas de longo prazo. O planejamento da capacidade é elaborado no nível estratégico, definindo a capacidade da planta. Já o planejamento agregado de produção é elaborado como uma transição para o nível tático, definindo o composto (ou <i>mix</i> ) das estratégias específicas de produção.
Nível Tático	São estabelecidos planos de médio prazo para a produção, obtendo-se o <i>MPS (Master Program Schedule)</i> ou Plano Mestre de Produção (PMP).
Nível Operacional	São preparados os planos de curto prazo, como resultado do <i>MRP (Material Requirement Planning)</i> ou Planejamento das Necessidades de Materiais.  Neste nível são gerenciados os estoques, as ordens de produção são seqüenciadas, as ordens de compras são emitidas e liberadas, assim como são executados o acompanhamento e o controle.

A Figuras 2.3 e 2.4 objetivam complementar as informações apresentadas na Tabela 2.1.:



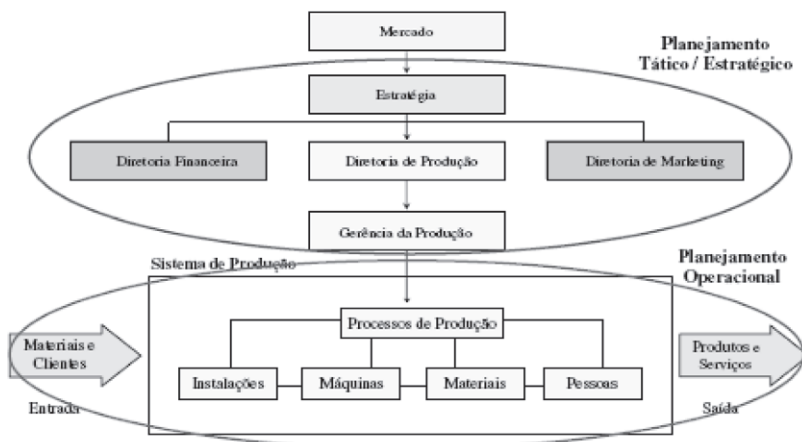
**Figura 2.3.** Níveis hierárquicos da estratégia de produção, funções de PCP x horizonte de tempo.

A Figura 2.3 associa os níveis hierárquicos aos horizontes de tempo de planejamento: longo prazo, médio prazo e curto prazo. Igualmente, apresenta a articulação dos níveis hierárquicos da estratégia de produção às diversas funções de PCP: planejamento da capacidade; planejamento agregado da produção; programa mestre de produção; planejamento das necessidades de materiais; programação detalhada da produção e execução e controle da produção.

### 2.3.1 Questões respondidas nos diferentes níveis hierárquicos do PCP

Para o entendimento do PCP e sua importância para a estratégia das organizações, é importante destacar os processos decisórios nos quais ele coopera e atua. A seguir apresenta-se uma lista de decisões no escopo de cada nível hierárquico da estratégia de produção.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> A classificação apresentada nessa lista deve servir apenas como referência, visto que outros autores classificam essas decisões em níveis hierárquicos diferentes dos aqui apresentados. Por exemplo, alguns autores classificam o planejamento agregado e as questões por ele respondidas no nível tático – nós aqui classificamos esse planejamento e as decisões a ele associadas no nível estratégico.



**Figura 2.4.** Articulação entre as funções em PCP e os níveis hierárquicos da estratégia de produção.

A Figura 2.4 mostra a articulação entre as funções organizacionais e cada um dos níveis hierárquico da estratégia da produção.

**No nível Estratégico:**

- Qual é a demanda do mercado?
- Qual a estratégia organizacional para atender as demandas do mercado?
- Qual é a capacidade da planta a ser instalada?
- Como implantar a gestão da produção? (tecnologia, instalações, financiamento, recursos humanos etc.)
- Quais os riscos inerentes à operação (financeiros, sociais, ambientais) que impactam no custo?
- Que indicadores<sup>5</sup> de desempenho devem ser empregados para o planejamento e o controle dos sistemas de produção?
- Qual o composto (ou *mix* de produtos) a ser produzido?
- Qual o valor agregado ao cliente (e aos acionistas)?

**No nível Tático:**

- Que políticas de produção podem ser empregadas? Por exemplo: variação da mão-de-obra? Produção a uma taxa constante? Minimizar estoques? Aceitar vendas perdidas? Aceitar atraso nas entregas?
- Quais os referenciais de excelência para orientar as premissas de projeto e de operação para processos e produtos?
- Quais os insumos necessários (pessoas, instalações, materiais, fornecedores etc.)?
- Que processos compoem o sistema produtivo?
- Qual a organização do Planejamento e Controle da Produção?
- Qual o tipo do sistema de produção?<sup>6</sup>
  - Empurrar a produção?
  - Puxar a produção?
  - Gerenciamento de gargalos?

<sup>5</sup> Esses indicadores devem considerar aspectos econômicos, financeiros, de qualidade, de responsabilidade social e ambientais.  
<sup>6</sup> Deve haver ponderações quanto às questões de responsabilidade social: atitudes do consumidor consciente, regulamentos do governo, interesse próprio, impacto ambiental, impacto sobre os empregados, produção e tecnologia limpa etc.

- Qual o tipo de organização da produção? Qual é o tipo de *layout*? Por exemplo:
  - Fluxo contínuo (larga escala)?
  - Linha de montagem (escala variável)?
  - *Flow shop* (lotes, linha de produção)
  - *Job shop* (*layout* funcional, múltiplos roteiros)?
  - Produção Unitária (*layout* posicional fixo)?
  - Planos de produto/serviço – ênfase na inovação?
  - Processo e tecnologia de produção?
  - Planos de instalações, capacidade, localização e *layout*?
  - Produção e estoques em múltiplos estágios?
- Qual o preço final e os custos de produção?
- Qual a qualidade do produto ou serviço (função da demanda, do tipo de cliente e de mercado)?
- Qual o grau de flexibilidade da produção?
- Qual o sistema de inovação a ser implantado?

#### No nível operacional:

- Qual o tipo de organização da produção?
- Qual o tamanho do lote?
- Quando deve ser produzido?
- Em que máquina deve ser produzido?
- Qual o seqüenciamento da produção nas máquinas?

## 2.4 EFICÁCIA OPERACIONAL COMO ELEMENTO ESTRATÉGICO

Não basta copiar as táticas operacionais para ter sucesso competitivo. De acordo com Michael Porter, “o problema fundamental é a falta de distinção entre eficácia operacional e estratégia”. Eficácia operacional é a capacidade de executarmos atividades de operações similares melhor do que nossos concorrentes. Para obter desempenho superior nos negócios é necessário possuir tanto eficácia operacional quanto estratégica.

Um exemplo é o das empresas que implantam programas de qualidade total ou de uso de um software de gestão integrada. Esses recursos de aperfeiçoamento dos processos e de sistematização das operações não são, por si só, suficientes para garantir que a organização tenha melhor competitividade. É necessário ter estratégia vinculada ao mercado, formas de abordá-lo, capacidade de inovar e de diferenciação perante os concorrentes.

Ou seja: a estratégia competitiva de uma organização é o seu plano a respeito de como a organização competirá no mercado. Para sustentar uma vantagem competitiva, as empresas devem decidir como se diferenciar dos concorrentes, o que Porter descreve como a “essência da estratégia”. O desafio para os gerentes de operações não é apenas melhorar as operações de suas empresas para conseguir eficácia operacional, mas também determinar como a eficácia operacional pode ser usada para obter uma vantagem competitiva sustentável.

### 2.4.1 O PCP e a integração interna na organização

As organizações preparam-se para competir no mercado global e local, e são solicitadas a integrem-se internamente. Por sua compreensão sistêmica do processo de produção (as decisões de PCP utilizam o conhecimento dos fatores econômicos, de mercado, do projeto de engenharia, das limitações da capacidade de produção etc.) associado ao negócio da organização, o PCP possui competências para apoiar esse esforço de integração.

O PCP integra as demandas do mercado com as limitações internas (finanças e capacidade de produção) e apóia a organização em suas decisões: quanto ao nível de atendimento ao cliente; redução de custos de produção; fluxo de caixa e retorno sobre ativos.

O PCP integra, por suas características de gerenciamento de informações para tomada de decisão, a cadeia produtiva interna na organização. Como será visto no Capítulo 11, a Tecnologia de Informação desenvolve soluções para essa integração e torna possíveis as decisões de PCP com a rapidez e flexibilidade exigidas na competição moderna.

Por essa atuação de articuladora e de integração, o PCP atua de forma a reduzir os conflitos potenciais entre as funções organizacionais de finanças, produção e vendas/marketing.

Enquanto o setor de vendas e marketing tradicionalmente enxerga as necessidades do mercado, a produção se detém em sua capacidade instalada. Ocorrem conflitos, por falta de compartilhamento de informações precisas e sistemáticas. Como decorrência, surge a insatisfação dos clientes pelo não atendimento de serviços e produtos contratados.

Atuando cooperativamente e como coordenador das demais funções organizacionais, o PCP estabelece parâmetros e define capacidades (quantidade e tempo) que deverão ser levadas em consideração para decisões como o fechamento de contratos de fornecimento. O PCP também leva em consideração os aspectos econômicos e financeiros nas tomadas de decisão, garantindo resultados positivos para a organização.

#### 2.4.2 O PCP e os objetivos de desempenho

A melhoria contínua do desempenho das organizações nos indicadores de produtividade, qualidade e de flexibilidade é a forma que as empresas têm encontrado para se manter competitivas.

A melhoria contínua deve ser buscada por todos na organização e cria um ambiente de busca de novas e melhores maneiras de produzir, além de evitar que se fique estático diante de um mercado em constante mutação. Para saber quanto uma organização acompanha o mercado, é importante estabelecer medidas de desempenho baseadas em cinco objetivos: qualidade, flexibilidade, confiabilidade, velocidade e custo.

A **qualidade** busca produzir bens e serviços que atendam estritamente suas especificações e cujos processos produtivos evitem refugo de material e retrabalho (execução de tarefas corretivas). A busca pela qualidade possui também importantes impactos na imagem da empresa e, conseqüentemente, em suas vendas. Empresas conhecidas por seu alto nível de qualidade de produtos e serviços não só mantêm seus clientes, mas também atraem novos que estão em busca de produtos confiáveis, duráveis e em conformidade com suas especificações técnicas.

A **flexibilidade** é a capacidade de os sistemas produtivos responderem eficazmente a mudanças decorrentes de flutuações e incertezas no ambiente produtivo. A flexibilidade é uma das vantagens da manufatura mais discutidas atualmente. Ela é a capacidade de adaptação da empresa à indefinição no mercado, às crises econômicas e ao avanço tecnológico. Todas essas questões influenciam na opção pela flexibilidade. Quanto mais informações estiverem disponíveis e os consumidores tiverem maior acesso a elas, a tendência é que eles se tornem mais exigentes quanto aos produtos que adquirem. A flexibilidade torna possível o atendimento às variadas expectativas de diferentes consumidores.

Outro fator a ser destacado é que a flexibilidade atua como suporte a outros critérios competitivos, proporcionando melhor confiabilidade e maior velocidade, porque torna possível a entrega e a continuidade da operação, mesmo na ocorrência de interrupções inesperadas. Slack (1993) afirma que não é incomum a utilização da flexibilidade para compensar a ausência de confiabilidade. Tal fato, apesar de ser uma saída, é um desperdício na utilização das vantagens que a flexibilidade pode proporcionar. As várias formas de flexibilidade são apresentadas por Gutiérrez (1997):

- Flexibilidade do *mix* de produção: capacidade de produzir um universo amplo de tipos de peças;
- Flexibilidade de expansão: capacidade de o sistema ser expandido de maneira fácil e modular;
- Flexibilidade de volume: habilidade de poder operar o sistema de maneira eficiente, em diferentes volumes de produção;
- Flexibilidade de produto: habilidade de permutar e produzir novos produtos de forma econômica e rápida;
- Flexibilidade de processo: habilidade do sistema de poder processar simultaneamente uma mistura de diferentes tipos de peças com pouca ou nenhuma inter-relação de materiais e formas;
- Flexibilidade de roteamento: habilidade de poder mudar a seqüência de “visitas” às máquinas, sem ter de modificar o conjunto das peças que estão sendo processadas, por exemplo, em caso de panes no maquinário;
- Flexibilidade de operação: habilidade de poder mudar a ordem das operações no processamento de um tipo de peça;
- Flexibilidade do maquinário: facilidade de reconfigurar e recolocar o maquinário em funcionamento. Por exemplo, substituir ferramentas e montar ou remontar acessórios de fixação sem interferências ou longos tempos de configuração.

A **confiabilidade** é a busca por honrar os compromissos de entrega com o cliente. Uma prática comum para o atendimento ao prazo de entrega é uma reserva de tempo a mais já prevendo alguns atrasos. Isso pode ser uma saída, mas não solucionará o real problema. Além disso, à medida que tal ação torna-se comum na empresa, os tempos de entrega tendem a expandir-se, ocupando todo o tempo disponível. A solução é analisar o processo e agir sobre os reais problemas, deixando o processo produtivo estável. Slack (1993) cita dois benefícios que derivam dessa estabilidade:

- menos estoque – porque parte das razões de se manter estoque é a instabilidade no processo, e, com o aumento da estabilidade, a confiabilidade cresce, e os estoques podem, conseqüentemente, diminuir;
- fluxo rápido – com a minimização dos estoques, o fluxo do produto no processo torna-se mais rápido, acarretando benefícios como diminuição de custos referentes a estoques e maior agilidade, entre outros.

A **velocidade** durante o processamento, como o próprio nome diz, reduz o tempo total de produção. O produto que está sendo manufaturado tem o seu ciclo de transformação mais rápido. Logo, a resposta ao cliente pode ser também mais rápida. Além dessa vantagem, a rapidez no processo produtivo tem como conseqüência a diminuição dos custos referentes a material em processo. Aqui, salienta-se que esse objetivo de desempenho deve ser acompanhado dos objetivos qualidade e confiabilidade. Sem qualidade, a velocidade muito provavelmente virá acompanhada de vários defeitos. Já a confiabilidade no processo proporciona a segurança de cumprir a data de entrega.

O último objetivo de desempenho é a vantagem a ser obtida **na minimização dos custos**. A atenção a esse critério, na maioria das vezes, influencia diretamente na capacidade competitiva da empresa. Por esse motivo, os custos merecem especial atenção e são influenciados por todos os critérios de desempenho citados. Uma melhora em qualquer um deles geralmente se refletirá em redução de custos.

É evidente que, no curto prazo, atingir o alto desempenho em todas as cinco dimensões é difícil e, em alguns processos produtivos, prima-se por algum critério em especial. Todavia, de acordo com as necessidades e exigências do mercado e condições da empresa, deve-se atingir alto desempenho em um critério inicialmente e, a partir disso, no médio e longo prazo, buscar a excelência em todos eles e, conseqüentemente, a excelência na manufatura.

A operacionalização das cinco dimensões de desempenho no processo produtivo requer fundamentalmente a compreensão do sistema de produção. Harding (1981) cita três importantes propriedades de um sistema:

- atua nas entradas para criar saídas;
- está inter-relacionado com outros sistemas;
- pode fazer parte de um sistema maior.

Observando um sistema de produção, verifica-se que ele atende a essas propriedades. Ele atua nas entradas (trabalho, energia, materiais e capital) para criar saídas (produtos – bens e serviços). O sistema de produção está inter-relacionado com outros sistemas, que podem ser o sistema de marketing, o sistema financeiro, o sistema de recursos humanos e outros de sua empresa. Além disso, um sistema de produção faz parte de um sistema maior, que é a sua empresa, que, por sua vez, faz parte do sistema econômico da nação, e assim por diante.

Corrêa e Giancesi (1996) afirmam que fica clara a influência que os sistemas de administração da produção<sup>7</sup> exercem sobre o aumento da flexibilidade dos sistemas de produção, tanto em termos de capacidade de resposta às mudanças originadas pelos clientes quanto de dificuldades decorrentes das incertezas.

## 2.5 REVISÃO DOS CONCEITOS

Neste capítulo, discutiu-se a integração do PCP à estratégia das organizações.

É importante destacar que neste texto buscou-se apresentar os fundamentos da integração de PCP na obtenção, pela organização, de seu diferencial competitivo. Este século valoriza a eficácia operacional como fator de competitividade.

A inclusão deste capítulo pelos autores deveu-se à necessidade de fazer o leitor compreender o papel importante do PCP não somente para viabilização da operação da organização de manufatura ou de serviços, mas também no posicionamento estratégico perante os seus competidores.

Descreveram-se as principais questões respondidas pelo PCP nos níveis estratégico, tático e operacional. Tais questões devem estar alinhadas com o objetivo estratégico organizacional.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Estratégia de produção  
Planejamento estratégico  
Eficácia operacional  
Planejamento hierárquico da produção  
Eficácia  
Eficiência  
Efetividade  
Produtividade  
Indicadores de desempenho

---

<sup>7</sup>Cabe ressaltar que alguns autores utilizam o termo sistemas de administração da produção, mas esse termo pode trazer confusão, por ser amplo demais. Deste ponto em diante será utilizado o termo sistemas de planejamento e controle da produção, termo mais difundido e que enfoca melhor o assunto deste trabalho.

## 2.6 EXERCÍCIOS

1. Na lista de critérios apresentada na Seção 2.2, identifique aqueles que estão diretamente associados ao PCP.
2. Amplie essa lista com, pelo menos, mais cinco critérios associados ao PCP.
3. Por que o PCP está intimamente ligado à competitividade das empresas?
4. Explique a importância do objetivo de desempenho flexibilidade para as empresas se manterem competitivas no mercado atual. Que formas de flexibilidade uma empresa pode desenvolver?
5. Por que o gerenciamento da cadeia de suprimentos (*supply chain management*) pode ser considerado uma fonte de vantagens competitivas para a empresa?
6. Quais os fatores que determinam o sucesso de uma empresa de manufatura?
7. Discuta os conflitos entre as áreas de vendas, produção e financeira. Como eles podem ser superados?
8. Quais as principais atribuições do PCP na empresa de manufatura?
9. Explique o conceito de Planejamento Hierárquico da Produção (PHP).



# Sistemas de produção

HELDER GOMES COSTA • LUIZ CESAR NANCI • OSVALDO L.G. QUELHAS • ROGÉRIO ATEM DE CARVALHO • RUBEN H. GUTIERREZ • VICTOR GOMES SIMÃO

## ■ OBJETIVOS DE APRENDIZADO

Este capítulo apresenta a classificação e a definição dos principais tipos de sistemas de produção. Ao final da leitura espera-se que o leitor compreenda os conceitos *Just-In-Time* (JIT), *Lean Production*, TOC, Six-Sigma. Também se espera prover o leitor de conhecimento a respeito dos contrastes entre produção em massa *versus* enxuta e produção puxada *versus* empurrada.

## 3.1 INTRODUÇÃO

A área da engenharia que se ocupa com os problemas das operações produtivas é a Engenharia de Produção. Esse ramo da engenharia tem ênfase em pesquisa e atuação profissional sobre a produção de bens ou serviços.

Em termos gerais, as operações de produção transformam recursos de entrada (*input*) em saídas (*output*) sob a forma de bens e serviços. A Figura 3.1 mostra uma representação esquemática de uma operação de produção.

Um dos grandes desafios apresentados ao engenheiro de produção é lidar com a diversidade de operações de produção existentes (minas, fábricas, escolas, hospitais, hotéis, serviços de entretenimento, correios, bancos, desenvolvimento de sistemas, entre outros).

Outros desafios para organizar e desenvolver operações produtivas estão relacionados com as diferenças econômicas, sociais, culturais e políticas que existem entre sistemas produtivos localizados em diferentes regiões do nosso planeta.

A existência das empresas dedicadas a produzir serviços e produtos para atendimento das necessidades da sociedade pode ser avaliada pela questão:

*Como seria a civilização se não existissem grupos organizados de pessoas para fornecer os produtos e serviços que precisamos no dia-a-dia?*

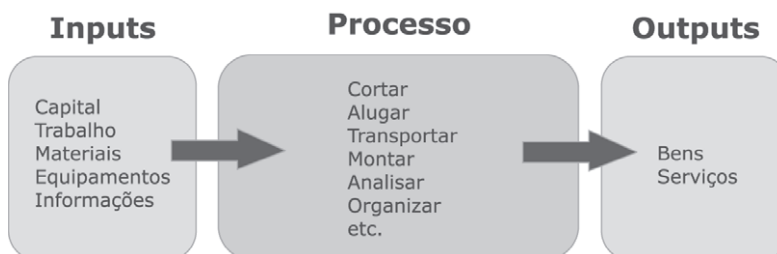


Figura 3.1. Dinâmica do sistema produtivo.

*Se não houvesse empresas, cada família deveria produzir suas próprias refeições, fazer suas roupas de materiais que teriam de extrair da natureza, cuidar da educação dos filhos, movimentar-se a pé ou a cavalo (que teriam de domesticar e manter), cuidar da saúde, construir a sua própria casa e móveis. Em uma sociedade como essa não haveria telefone, televisão, jornais e livros, entre outros.*

*Quanto tempo necessitaria para fazer o seu próprio automóvel? A que preço ficaria tal automóvel? E a sua própria televisão? As empresas são organizações especializadas em criar produtos e serviços para atender às necessidades humanas. As operações de produção são classificadas sob diversos aspectos, conforme será caracterizado ao longo deste capítulo.*

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Os sistemas de produção são classificados de diversas maneiras com o intuito de facilitar a compreensão de suas características e a relação entre as atividades produtivas.

As classificações mais conhecidas de sistemas de produção são pelo grau de padronização dos produtos, pelo tipo de operações que sofrem os produtos, pelo ambiente de produção e pela natureza do produto, como apresentado na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1.** Classificações dos sistemas de produção

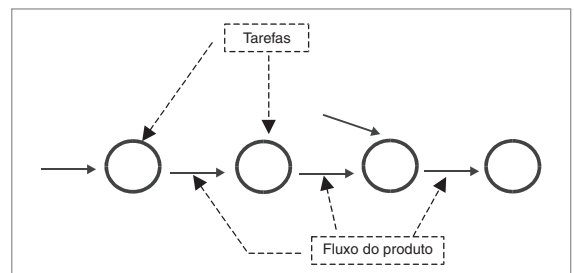
TIPO DE CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
Grau de padronização dos produtos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produtos padronizados</li> <li>• Produtos sob medida ou personalizados</li> </ul>
Tipo de operação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processos contínuos (larga escala)</li> <li>• Processos discretos</li> <li>• Repetitivos em massa (larga escala)</li> <li>• Repetitivos em lote (<i>flow shop</i>, linha de produção)</li> <li>• Por encomenda (<i>job shop</i>, <i>layout</i> funcional)</li> <li>• Por projeto (unitária, <i>layout</i> posicional fixo)</li> </ul>
Ambiente de produção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Make-to-stock (MTS)</i></li> <li>• <i>Assemble-to-order (ATO)</i></li> <li>• <i>Make-to-order (MTO)</i></li> <li>• <i>Engineer-to-order (ETO)</i></li> </ul>
Fluxo dos processos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Processos em linha.</i></li> <li>• <i>Processos em lote.</i></li> <li>• <i>Processos por projetos</i></li> </ul>
Natureza dos produtos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bens</li> <li>• Serviços</li> </ul>

#### 3.2.1 Classificação quanto ao fluxo dos processos

Devido à importância e ao uso da classificação dos processos pelos seus fluxos, apresentam-se a seguir algumas observações sobre este tipo específico de classificação – em geral, estas informações foram construídas a partir do trabalho de Marshal *et al.* (1975).

##### 3.2.1.1 Processos em linha

Os processos em linha se caracterizam por ter uma seqüência de operações muito bem definida. As operações apresentam operações de precedência e operações subsequentes, de tal maneira que acompanham uma seqüência linear. A Figura 3.2 mostra uma representação esquemática de um fluxo linear, na qual pode-se encontrar também um fluxo lateral.



**Figura 3.2.** Representação de um fluxo linear.

Nas operações em linha, os produtos devem estar bem padronizados e devem fluir de uma operação a outra em uma seqüência preestabelecida. Essas operações devem ser processadas de tal forma que uma não retarde as outras, podendo ser classificadas em dois tipos de produção: em massa e contínua. Como exemplo de produção em massa, podemos citar as linhas de montagem. A produção contínua refere-se àquela organização encontrada, por exemplo, em indústrias como a química e a de eletricidade.

As operações em linha tradicionalmente são extremamente eficientes, mas também muito inflexíveis. A eficiência deve-se ao alto uso de tarefas padronizadas e também ao uso de equipamentos especializados.

### 3.2.1.2 Processos em lote

Os sistemas de produção em lote se caracterizam por:

- criar uma grande variedade de produtos (produtos não-padronizados), cada um podendo usar uma seqüência própria de tarefas;
- fluxo intermitente;
- produção em lotes ou em intervalos;
- alta flexibilidade, devido à utilização de equipamento para propósitos gerais e mão-de-obra altamente qualificada;
- dificuldade de controle, devido ao fluxo desordenado, o que repercute negativamente sobre estoques e programas de qualidade;
- agrupar equipamentos similares e habilidades de trabalho semelhantes;
- baixo volume de produção.

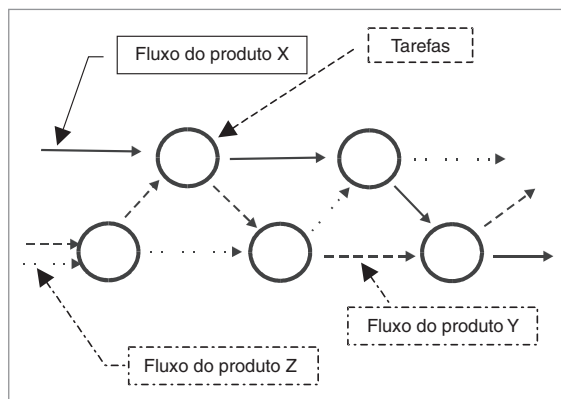


Figura 3.3. Representação de um fluxo por lotes.

A Figura 3.3 ilustra o fluxo intermitente em um sistema de produção por lotes.

### 3.2.1.3 Processos por projetos

Os sistemas de produção do tipo projeto são caracterizados por terem um único produto, como por exemplo, um prédio, uma plataforma de produção de petróleo, um navio, um gasoduto, um oleoduto. Nessas situações a organização da seqüência de atividades deve respeitar essa característica. A Figura 3.4

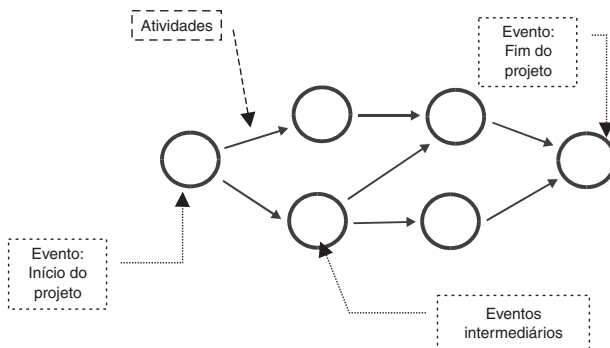


Figura 3.4. Representação de um fluxo por projeto.

busca ilustrar o fluxo de atividades usualmente encontrado em sistemas de produção por projetos. Em geral, esta representação gráfica é denominada rede do projeto.<sup>1</sup>

### 3.2.1.4 Características dos sistemas de produção versus tipos de fluxo de produção

A Tabela 3.2 apresenta de forma consolidada os relacionamentos entre diferentes características dos sistemas de produção e os tipos de fluxos de produção.

**Tabela 3.2.** Sistemas de produção e tipos de fluxos de produção

	CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	LINEAR	LOTE OU INTERMITENTE	PROJETO
PRODUTO	Tipo de pedido	Lotes Grandes Produção contínua	Lote	Unidade
	Fluxo do produto	Em seqüência	Desordenado	Variável
	Variiedade	Baixa	Alta	Muito alta
	Tipo de mercado	Em massa	Por cliente	Único
	Volume	Baixa	Alta	Muito alta
PESSOAL	Habilidades	Baixas	Altas	Altas
	Tipo de tarefa	Repetitivas	Não rotineiras	Não rotineiras
	Remuneração	Baixa	Alta	Alta
FINANÇAS	Investimento	Alto	Médio	Baixo
	Estoques	Baixo	Alto	Médio
	Equipamentos	Especiais	Gerais	Gerais
INDICADORES OPERACIONAIS	Flexibilidade	Baixa	Médio	Alta
	Custo	Baixo	Médio	Alto
	Qualidade	Constante	Variável	Variável
	Serviço	Alto	Médio	Baixo
CONTROLE E PLANEJAMENTO	Produção	Fácil	Difícil	Difícil
	Qualidade	Fácil	Difícil	Difícil
	Estoques	Fácil	Difícil	Difícil

Fonte: Adaptado de Schroeder (1993).

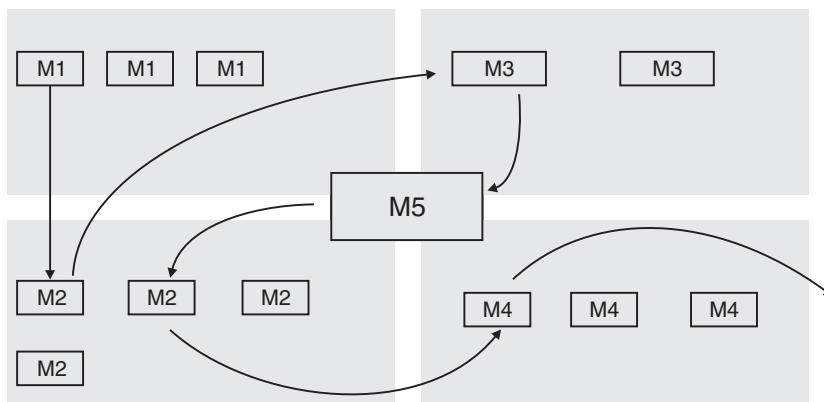
### 3.2.1.5 Fluxos de produção e os arranjos físicos

Os diversos tipos de sistemas de produção influenciam na definição dos arranjos físicos. O estudo dos arranjos físicos é realizado em disciplina específica no curso de Engenharia de Produção. Entretanto, neste livro faz-se necessário trazer à discussão alguns dos conceitos no contexto entre a articulação do PCP com a disciplina Arranjos Físicos. Esta seção apresenta uma breve discussão sobre esse tema.

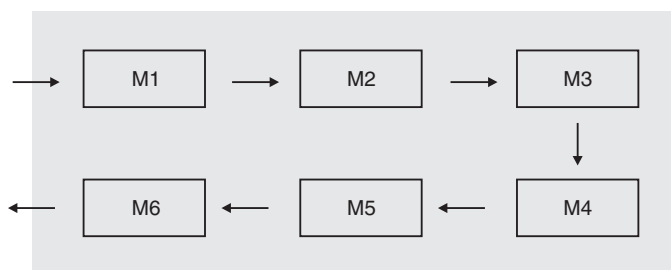
As Figuras 3.5 e 3.6 apresentam exemplos esquemáticos dos arranjos “funcional” e em “fluxo”, respectivamente. Ambas as soluções de arranjo físico atendem necessidades peculiares do sistema de produção composto por processos discretos repetitivos em lote (*flow shop*, linha de produção) e por encomenda (*job shop*, *layout* funcional).

O *layout* funcional, ou *job shop*, atende às necessidades de produção por encomenda, com baixo volume. Exemplos: fabricação de equipamentos especializados para produção de petróleo, equipamentos eletrônicos para sistemas de telecomunicações etc.

<sup>1</sup> O Capítulo 8 contém uma seção dedicada especificamente ao planejamento e controle da produção de projetos. Nesse capítulo, o conceito de rede de projetos e sua forma de representação serão discutidos de forma detalhada.



**Figura 3.5.** Layout funcional (*job shop*).



**Figura 3.6.** Layout em fluxo (*flow shop*).

O *layout* por fluxo atende às necessidades de produção repetitiva em lotes, com maiores volumes. Exemplo: fabricação de automóveis.

A Tabela 3.3 apresenta uma comparação entre esses dois tipos de *layout* (funcional e fluxo). Observa-se que o projeto do *layout* é, portanto, função do tipo de sistema de produção: inerente à demanda, variedade ou padronização dos produtos, quantidades a serem produzidas etc.

**Tabela 3.3.** *Flow Shop versus Job Shop*

LAYOUT EM FLUXO (FLOW SHOP)	LAYOUT FUNCIONAL (JOB SHOP)
Produtos similares	Muitos produtos
Alto volume	Baixo volume
Fluxo linear	Fluxo irregular
Ciclo rápido ( <i>lead time</i> )	<i>Lead times</i> altos
Baixo custo unitário de produção	Maior dificuldade de programação e controle

### 3.2.2 Classificação quanto ao grau de padronização dos produtos

A classificação baseada no grau de padronização dos produtos divide-se em sistemas que fabricam produtos padronizados e sistemas geradores de produtos sob medida. Esses são exemplos extremos, e o que geralmente ocorre é uma combinação de ambos, com ênfase em um deles. Essa classificação influencia diretamente o grau de controle exercido sobre a produção: quanto mais padronizado o produto, maior é a confiabilidade do controle em seu processo e menor a sua flexibilidade.

**Produtos padronizados:** Bens ou serviços que apresentam alto grau de uniformidade, produzidos em grande escala. Seus sistemas produtivos podem ser organizados de forma a padronizar mais facilmente os recursos produtivos e os métodos de trabalho e controles. Exemplos: eletrodomésticos, combustíveis, automóveis, roupas, alimentos industrializados.

**Produtos sob medida:** Bens ou serviços desenvolvidos para um cliente específico. Os sistemas possuem grande capacidade ociosa e dificuldade em padronizar os métodos de trabalho e os recursos produtivos, gerando produtos mais caros do que os padronizados. A automação é pouco aplicável. Exemplos: fabricação de máquinas-ferramentas, construção civil, alta costura, estaleiros.

### 3.2.3 Classificação quanto ao tipo de operação

Esta classificação subdivide-se em dois grupos: processos contínuos e processos discretos.

**Processos contínuos:** Envolvem a produção de bens e serviços que não podem ser identificados individualmente e apresentam alta uniformidade na produção. Os produtos e processos são interdependentes, favorecendo a automação, com pouca ou nenhuma flexibilidade. Exemplos de setores em que se aplicam: energia elétrica, petróleo e derivados e produtos químicos de uma forma geral.

**Processos discretos:** São passíveis de ser isolados em lotes ou unidades. Os processos discretos são classificados em (a) processos repetitivos em massa; (b) processos repetitivos em lotes e (c) processos por projeto:

- **Processo repetitivo em massa:** empregado na produção em grande escala de produtos altamente padronizados que apresentam demandas estáveis, estrutura altamente especializada e pouco flexível. Exemplos: indústrias automotivas, de eletrodomésticos, produtos têxteis, produtos cerâmicos, abate e beneficiamento de aves, suínos e gado, serviços de transporte aéreo, edição de jornais e revistas.
- **Processo repetitivo em lote:** apresenta volume médio de bens e serviços padronizados em lote, cada lote seguindo uma série de operações que necessita ser programada à medida que as operações anteriores forem realizadas. É relativamente flexível, empregando equipamentos pouco especializados e mão-de-obra polivalente visando atender diferentes pedidos dos clientes e flutuações da demanda. Exemplos: fabricação de produtos têxteis em pequena escala, alimentos industrializados, ferragens. Serviços: oficinas de reparo para automóveis e aparelhos eletrônicos, laboratórios de análises químicas, restaurantes.
- **Processo por projeto:** atende a uma necessidade específica do cliente. Possui estreita ligação com os clientes e, portanto, alta flexibilidade dos recursos produtivos, normalmente à custa de certa ociosidade. Exemplos: fabricação de bens: navios, aviões, usinas. Prestação de serviços: agências de propaganda, escritórios de advocacia, arquitetura.

Os processos contínuos e os processos repetitivos em massa (que serão vistos a seguir) são mais fáceis de serem projetados e administrados do que os processos repetitivos em lote sob encomenda, pois a variedade dos produtos é pequena e o fluxo produtivo é uniforme.

A Tabela 3.4 traz uma comparação entre os tipos de operações e as características do sistema produtivo.

### Complexidade, tipo de operação e tempo de produção

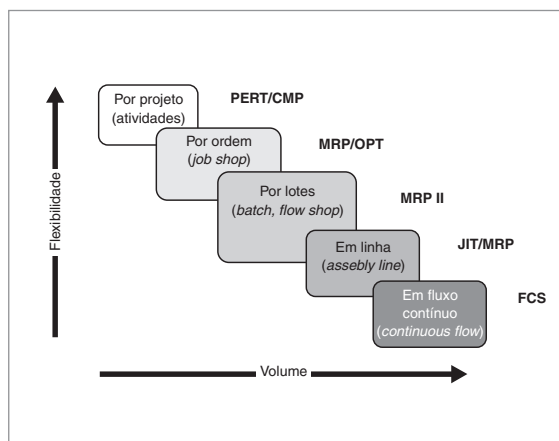
O grau de complexidade no planejamento, na programação e no controle da produção é constatado quando se considera outra definição de sistemas de produção: sistemas de produção contínuos são aqueles cujos produtos não mudam, enquanto os intermitentes (repetitivos ou sob encomenda) são alterados com mais frequência. A Figura 3.7 ilustra a complexidade e o tempo de produção de acordo com o tipo de produção (classificada em função do tamanho do lote).

**Tabela 3.4.** Comparação entre tipos de operações

CRITÉRIOS	PROCESSOS CONTÍNUOS	PROCESSOS DISCRETOS		
		REPETITIVO EM MASSA	REPETITIVO EM LOTES	PROJETO
Volume de Produção	Alto	Alto	Médio	Baixo
Variedade de Produtos(*)	Pequena	Média	Grande	Pequena
Flexibilidade	Baixa	Média	Alta	Alta
Qualificação da Mão-de-obra Direta	Baixa	Média	Alta	Alta
Layout	Por produto	Por produto	Por processo	Por posição
Capacidade Ociosa	Baixa	Baixa	Média	Alta
Lead Time	Baixo	Baixo	Médio	Alto
Fluxo de Informações	Baixo	Médio	Alto	Alto
Produtos	Contínuos	Em lotes	Em lotes	Unitário

A Figura 3.7 mostra como varia a complexidade dos produtos e o tempo entre unidades sucessivas em diferentes tipos de sistemas de produção. A complexidade refere-se principalmente ao número de peças ou componentes do produto final.

À medida que as classificações apresentadas até o momento são comparadas, verifica-se que elas são complementares. O PCP possui, para cada sistema de produção, recursos adequados de modo a exercer o planejamento, a programação e o controle nos níveis desejados de volume e de flexibilidade. Cada um desses “recursos” (Pert/Cpm; MRP/OPT; MRP II; JIT/MRP; FCS) será estudado nos outros capítulos deste livro.


**Figura 3.7.** Matriz Produto-Processo (Hayes & Wheelwright, 1984)

### 3.2.4 Classificação quanto ao ambiente de produção

Esta classificação é usada para caracterizar o posicionamento dos estoques no processo produtivo, além de informar sobre a complexidade do fluxo de materiais. De acordo com essa orientação, os sistemas de produção são classificados segundo a Tabela 3.5, que ilustra a posição dos estoques de matéria-prima.

**MTS – Make to Stock:** Significa “produzir para estoque”. São produtos padronizados, com rápido atendimento ao cliente. Baseiam-se fortemente em previsões de demanda e apresentam alto custo de estoque. Exemplos: a grande maioria dos produtos de prateleira e de consumo geral.

**ATO – Assemble to Order:** Significa “montagem sob encomenda”. São produtos cuja característica é a possibilidade de pré-fabricar subconjuntos (ou módulos) que serão posteriormente montados de acordo com o pedido do cliente. Tal característica pode levar à diferenciação, com aumento da variabilidade. Possuem prazo médio de atendimento ao cliente, incidindo custos razoáveis de estoque. Exemplos: computadores pessoais.

**Tabela 3.5.** Classificação quanto ao ambiente de produção

CLASSIFICAÇÃO	ETAPAS DO PROCESSO PRODUTIVO			
MTS – <i>Make-to-stock</i>	–	Fabricação	Estoque	Entrega
ATO – <i>Assemble-to-order</i>	Fabricação	Estoque	Montagem	Entrega
MTO – <i>Make-to-order</i>	Estoque	Fabricação	Montagem	Entrega
ETO – <i>Engineer-to-order</i>	Projeto	Aquisição da matéria-prima	Fabricação	Entrega

**MTO – Make to Order:** Significa “produzir sob encomenda”. A etapa de produção só se inicia após o recebimento formal do pedido do cliente. O prazo de atendimento é alto, e os estoques concentram-se no início da cadeia (entradas do processo).

Exemplos: pinturas, produtos personalizados (sapatos, roupas etc.) e a grande maioria dos serviços.

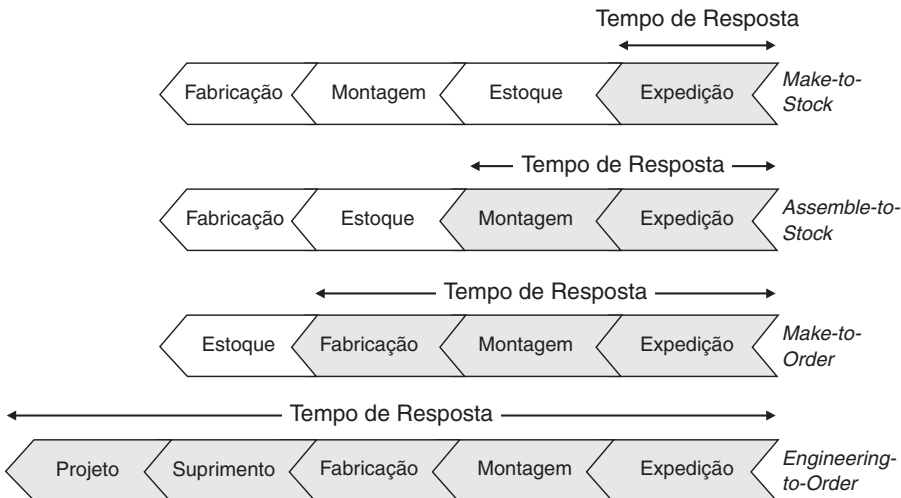
**ETO – Engineer to Order:** Significa “engenharia por encomenda”. É aplicado a projetos dos quais o cliente participa desde o início, antes mesmo da colocação do pedido. Não há estoque de matéria-prima antecipada, até mesmo porque, na maioria das vezes, a definição da matéria-prima faz parte do projeto. A complexidade do fluxo de materiais é altíssima, pois a variabilidade é alta e o volume é baixo. O prazo de entrega é muito longo. Os custos com estoque em processo costumam ser elevados, dada a dificuldade de sincronismo na cadeia produtiva. Exemplos: grandes projetos como obras públicas, construção de navios, plataformas, equipamentos para exploração de petróleo e gás etc.

Uma das funções da programação da produção é determinar a *lead-time*, que é o tempo necessário entre a liberação da ordem de produção e a entrega do lote ou do produto ao seu destino (almoxarifado, outro departamento de produção, depósito de produtos). Inclui o tempo para preparo de matérias-primas e retirada do estoque.

A Figura 3.8 ilustra a associação entre esses sistemas de produção e o *lead time* (tempo de resposta) de entrega percebido pelo cliente. O estudo do *lead-time* será aprofundado no Capítulo 8.

**3.2.5 Classificação quanto à natureza dos produtos**

Em relação à classificação quanto à natureza dos produtos, o resultado de um sistema de produção gera um bem ou um serviço. Quando um sistema fabrica algo tangível, o sistema de produção é uma manufatura de bens. Quando um produto é intangível, o sistema de produção é um prestador de serviços.



**Figura 3.8.** Lead time e a classificação quanto ao ambiente de produção (Arnold, 1998).



Ambas devem projetar seus produtos, prever sua demanda, balancear seu sistema produtivo, treinar sua mão-de-obra, vender seus produtos, alocar seus recursos, planejar e controlar suas operações. Uma diferença básica entre os sistemas é que a manufatura é orientada para produtos, enquanto a prestação de serviços é orientada para a ação.

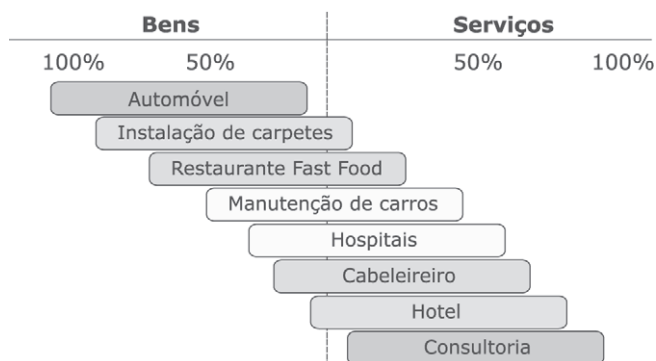
Características de um bem tangível: pode ser estocado; a produção precede o seu consumo; o grau de contato com o cliente é baixo; pode ser transportado; sua qualidade é evidente, entre outras.

Por outro lado, um produto é intangível não pode ser estocado; sua produção e seu consumo são simultâneos; o grau de contato com o consumidor é alto; ele não pode ser transportado; e sua qualidade é difícil de avaliar.

Na realidade, poucos bens e serviços são puros. Um produto, muitas vezes, é uma composição das características de bens e serviços. O capítulo 13 detalha o PCP em serviços.

Existem sistemas produtivos de bens que podem ser também classificados como sistemas produtivos de serviços. Considere o exemplo de um restaurante no qual a confecção dos variados pratos é claramente a produção de um bem, enquanto grande parte das outras tarefas do restaurante faz parte da produção de serviço. A classificação dos sistemas produtivos não é simples nem universal, como mostra a Figura 3.9.

Algumas características particulares dos serviços podem ser mais bem exemplificadas e comparadas à produção de bens quando avaliadas sob alguns critérios, como por exemplo:



Fonte: Adaptado de Gianesi e Corrêa (1996)

**Figura 3.9.** Bens e serviços.

**Orientação do produto:** Serviços são intangíveis. Em consequência, não podem ser previamente executados e estocados como os bens; há necessidade da presença do cliente para ocorrer a ação, pois a produção e o consumo ocorrem simultaneamente.

**Inviabilidade de armazenamento:** Os serviços não podem ser armazenados ou estocados para serem consumidos posteriormente. Esta propriedade está associada a uma outra, denominada simultaneidade.

**Simultaneidade:** No contexto do serviço, o produto é consumido no exato instante em que é produzido. Isso faz com que, em algumas situações, o consumidor seja também considerado matéria-prima, produto e até mesmo operário do processo.

**Serviços são intangíveis:** Em consequência, não podem ser previamente executados e estocados como os bens; há necessidade da presença do cliente para ocorrer a ação, pois a produção e o consumo ocorrem simultaneamente.

**Contato com o cliente:** O planejamento da prestação dos serviços deve levar em conta o tempo que os clientes estão dispostos a esperar nessa operação, bem como a qualificação da mão-de-obra pres-

tadora de serviço, já que esta terá contato direto com o cliente. Além disto, com um alto grau de contato com o consumidor, o controle sobre o processo de produção e a mensuração do seu resultado tornam-se mais difíceis, necessitando uma compreensão clara da natureza das operações para que seja possível obter serviços de alta qualidade.

**Não-uniformidade dos fatores produtivos:** Os serviços estão sujeitos a maior variabilidade de entrada do que a manufatura, em que predomina a padronização. Nesse sentido, o processo produtivo na prestação de serviço é variável e pouco sujeito à automação. A manufatura de bens propicia a mecanização e o controle dos trabalhos. Resultante disso, as saídas do sistema de manufatura são mais estáveis.

**Avaliação do sistema:** Na prestação de serviços, a avaliação é mais complexa, pois as entradas, o processamento e as saídas são variáveis, enquanto na manufatura esses fatores podem ser predeterminados e avaliados.

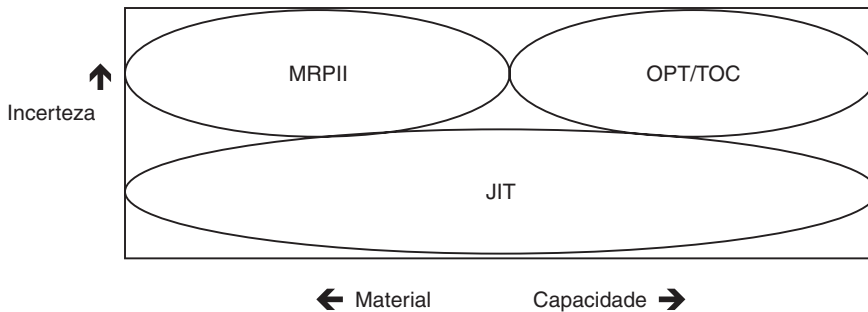
### 3.3 PRINCÍPIOS DE ORGANIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Nesta seção abordaremos os princípios de planejamento e controle da produção, desenvolvidos na evolução histórica dos sistemas de produção.

Atualmente são três os principais sistemas de planejamento e controle da produção: *Just-In-Time* (JIT), *Manufacturing Resources Planning* (MRP II) e *Optimized Production Technology* (OPT).<sup>2</sup> Esses dois últimos são sistemas integrados de informação baseados em computador.

Picinato *et al.* (1993) associa esses sistemas ao enfoque dado a materiais e à capacidade produtiva, conforme pode ser observado na Figura 3.10.

Produção empurrada *versus* puxada



Fonte: Picinato *et al.* (1993)

**Figura 3.10.** Sistemas de PCP.

Uma distinção muito usual sobre os sistemas de produção os classifica em sistemas empurrados e sistemas puxados. Esta seção apresenta uma discussão a respeito desses sistemas.

**Produção Empurrada:** Neste sistema, as estações de trabalho produzem de acordo com uma previsão de demanda que lhes é apresentada e que pode ser confirmada ou não. Caso a demanda real na estação de trabalho seja inferior à projetada, a estação “empurra” o excedente para o estágio seguinte, formando estoques: intermediários (no caso de o estágio subsequente ser uma estação de trabalho); ou de produtos finais (caso o estágio subsequente seja o mercado consumidor).

**Produção Puxada:** Neste sistema, as estações de trabalho produzem de acordo com a demanda real apresentada. Isto é, este sistema baseia-se no princípio de que um processo posterior pede e

<sup>2</sup> Neste trabalho será utilizado o termo OPT para se referir ao sistema de PCP, e TOC para se referir à teoria sobre a qual esse sistema se baseia.

retira peças do estoque de um processo anterior apenas na proporção e na hora que são necessárias. A filosofia *Just-In-Time* (JIT) utiliza, através de cartões de controle do tipo *kanban*, este tipo de mecanismo.

A seguir apresenta-se uma breve discussão sobre os sistemas JIT (que será detalhado em um capítulo específico) e TOC.

### 3.3.1 A filosofia *Just-In-Time* (JIT)

A aplicação de algumas técnicas na produção japonesa permitiu reduzir estoques em todos os níveis, incrementar a capacidade disponível em grandes investimentos adicionais, diminuir tempos de fabricação, melhorar a produtividade e a qualidade dos produtos fabricados etc.

E uma destas técnicas foi o JIT<sup>3</sup>, que tem o objetivo de dispor da peça necessária, na quantidade necessária e no momento necessário, pois qualquer espera por falta de peças em uma linha de produção, ou o excesso em estoque das mesmas, traduz-se em custos e desperdícios. Em japonês, as palavras para just-in-time significam “no momento certo”, “oportuno”. Uma melhor tradução para o inglês seria “Just-On-Time, ou seja, em tempo exatamente estabelecido. In-Time, em inglês, significa “a tempo”, ou seja, “não exatamente no momento estabelecido, mas um pouco antes, com uma certa folga”.

As premissas estabelecidas pelo sistema de produção enxuta levaram à percepção de que o sistema JIT seria um sistema utilizado por empresas que precisam organizar-se numa lógica de produzir somente na medida das necessidades do mercado, o que justificou a adoção do nome just-in-time. O sistema JIT consolida-se a partir de alguns pressupostos básicos que precisam funcionar plenamente:

- redução dos tempos de preparação;
- padronização das operações;
- reorganização dos *layouts* da fábrica;
- utilização de uma força de trabalho altamente capacitada.

Subjacente a essa afirmação encontra-se a idéia da produção sem desperdícios, visto que os desperdícios tendem a se transformar em custos. Na concepção do just-in-time, não se deve fazer nada que não adicione valor aos produtos. Em função disso, todos os esforços são concentrados para a completa eliminação das perdas (desperdícios) que possam ocorrer no processo produtivo.

A idéia ainda é buscar padronização e repetição tanto qualitativa como quantitativa, como no sistema de produção em massa, só que agora com orientação para o mercado, fornecendo lotes reduzidos de produtos diferenciados.

A Figura 3.11 ilustra a contextualização do JIT com outras importantes disciplinas associadas ao processo produtivo. O sistema JIT possui algumas características fundamentais ou princípios fundamentais que precisam ser incorporados, para obter implantação e controle bem-sucedidos:

- deve-se priorizar o mercado, no sentido de atender somente o que é necessário no momento necessário. Qualquer produção adicional pode tornar-se um desperdício;
- deve-se compreender que problemas de qualidade, como “sucatas” e retrabalhos, são desperdícios “graves” e, como tal, devem ser severamente controlados e combatidos;
- os estoques devem ser minimizados, ou até zerados. Estoques, além de por si só representarem um grande desperdício, tendem a ser usados também para “proteger” contra as incertezas dos processos. Enquanto essas proteções continuarem existindo, não será possível identificar claramente as causas das incertezas e combatê-las como desperdícios. Nesse sentido, é providencial a analogia com o lago cheio de pedras no fundo. O nível de água representa os estoques

<sup>3</sup> O JIT, surgiu no Japão nos meados da década de 1970, com base em literatura sobre a Toyota japonesa (empresa que desenvolveu o sistema tal como foi introduzido no Brasil, o que o leva muitas vezes a ser chamado de “Sistema Toyota de Produção”).

existentes, impedindo que se percebam as pedras, que representam os desperdícios de toda espécie. Enquanto o nível permanecer elevado, as pedras (desperdícios) permanecerão ocultas. No entanto, à medida que o nível d'água (estoques) baixar, essas pedras começam a aparecer. Nesse momento, pode então iniciar o processo de remoção das mesmas, pela resolução dos problemas que justificam os elevados estoques.

- Outro princípio fundamental que apóia a implantação do sistema JIT é o compromisso de trabalhar com lotes cada vez mais reduzidos. Dentro da lógica do lote econômico, o pensamento desenvolvido na Toyota não foi de abandonar essa lei, mas de compreendê-la de forma diferente. Visto que o tamanho do lote é função dos custos de armazenagem e preparação, e esse lote precisa ser reduzido ao máximo (tendendo à unidade), então a única forma de viabilizar tal condição é pela redução daqueles custos, o que na Toyota foi obtido via projetos para redução dos tempos de preparação de máquinas.
- Um princípio importante diz respeito ao correto aproveitamento da mão-de-obra. Dentro do sistema em massa, existe a tendência a utilizar pessoal especializado na operação dos equipamentos, uma herança do Fordismo, que pregava que quanto mais simples fossem as máquinas e mais especializados seus operadores, maior seria a eficiência das mesmas. Também a organização física das fábricas, devido à distância entre equipamentos e à divisão em setores especializados (setor de prensas, setor de tornos, setor de soldas etc), propiciou a criação de cargos especializados (operador de prensa, torneiro, soldador etc).

Uma disfunção constatada pelos engenheiros da Toyota relaciona-se ao fato de que o operador especialista, dedicado a um tipo único de equipamento, quando em atuação, tende a ter uma incidência muito grande de desperdícios em seu tempo de trabalho, gerando um baixo nível de ocupação, ou seja, a percentagem de tempo em que está realmente realizando alguma ação que agregue valor ao produto. Shingo constatou essa questão ao afirmar que "...o custo por hora do operador é geralmente muito maior do que o custo da máquina; do ponto de vista da redução de custos, é preferível uma máquina parada a um trabalhador ocioso". (Shingo, 1996, 107). Essa percepção, de que o custo com mão-de-obra é tão elevado quanto os custos com estoques, orientou a busca de um melhor aproveitamento da mão-de-obra, principalmente pela definição de um novo perfil para os trabalhadores, agregando mais habilidades e com formação em outras atividades, buscando assim o operador multifuncional.

#### Abordagem tradicional *versus* abordagem JIT

A melhor maneira de compreender como a abordagem JIT difere da abordagem tradicional de manufatura é analisar o contraste entre os dois sistemas. Tradicionalmente, cada estágio no processo de manufatura envia os componentes que produz para um estoque, o qual "isola" aquele estágio do próximo estágio do processo. Esse próximo estágio irá (eventualmente) suprir-se dos componentes desse estoque, processá-los e enviá-los para o próximo estoque isolador. Esse estoque faz com que cada estágio seja relativamente independente, de modo que, por exemplo, se o estágio A interromper sua produção por alguma razão (quebra de máquinas, falta de componente etc.), o estágio B deve continuar trabalhando, ao menos por algum tempo. Quanto maior o estoque isolador,



Figura 3.11. O sistema JIT.

maior é o grau de independência entre os estágios, portanto, menor é o distúrbio causado quando ocorre o problema. Esse isolamento é conseguido à custa de estoque (capital empatado) e altos tempos de atravessamento (resposta lenta ao mercado).

O principal argumento contra tal abordagem é a própria independência entre os estágios produtivos. Quando um problema ocorre num dado estágio, ele não se torna imediatamente aparente em outros estágios do sistema. A responsabilidade pela resolução do problema estará centralizada no pessoal daquele estágio, fazendo com que as conseqüências do problema não sejam transmitidas ao resto do sistema.

No JIT, os componentes são produzidos e passados diretamente para o próximo estágio “justamente no momento” em que serão processados. Por exemplo, se o estágio A interromper sua produção, o estágio B perceberá imediatamente. O problema do estágio A é agora rapidamente exposto a todo o sistema, e este é afetado pelo problema. Uma conseqüência disso é que a responsabilidade pela resolução do problema não está mais confinada ao pessoal do estágio A, mas é agora compartilhada por todos. Isso amplia consideravelmente as chances de que o problema seja resolvido, pelo simples fato de que agora ele é muito importante para ser ignorado. Evitando o acúmulo de estoques entre estágios, a empresa amplia as chances de a eficiência intrínseca da fábrica ser aprimorada.

### 3.3.2 A teoria das restrições – TOC

Outra importante abordagem de PCP é a Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* – TOC). Elaborada pelo físico israelense Elyahu Goldratt, pode ser considerada atualmente como a base conceitual do OPT.

A TOC considera que os ganhos serão obtidos a partir da administração eficiente de todos os recursos e do conjunto de restrições a que a empresa está submetida. Esse conceito abre o leque de aplicação da TOC, e, mesmo tendo sua origem na busca da solução dos problemas da produção, ele pode ser aplicado em qualquer segmento de atividade.

Segundo a TOC, a verdadeira meta de uma empresa é ganhar dinheiro, tanto agora como no futuro, sendo que todas as outras ações que a empresa criar são decorrências desta. No entanto, existem restrições que limitam o alcance da meta. Como essas restrições têm a característica de ser genéricas ou comuns para qualquer empresa, a TOC criou uma tipologia para classificá-las adequadamente.

Até o momento, foram apresentados sistemas de planejamento e controle da produção que estão baseados em duas filosofias: “empurrar” e “puxar” a produção. De uma forma geral:

- os sistemas que “empurram” a produção buscam a otimização do sistema de produção pela maximização do seu uso, o que equivale à minimização da ociosidade. Nesses sistemas, os métodos de previsão e planejamento constituem instrumental de extrema relevância.
- os sistemas que “puxam” a produção buscam a otimização do sistema de produção pela minimização dos seus estoques, induzindo a redução de desperdícios. Nesses sistemas, são os métodos de controle (como o sistema de cartões *kanban*) que constituem um instrumental de extrema relevância.

Diferentemente das abordagens citadas, a Teoria das Restrições (*Theory of Constraints*, TOC) busca otimizar globalmente os sistemas de produção de forma a extrair seu máximo “ganho”. Essa é uma importante e fundamental diferença.<sup>4</sup> Ver a aplicação da Teoria das Restrições ao final do capítulo.

<sup>4</sup> No Livro *The Goal: A Process of Ongoing Improvement* o físico israelense E. Goldratt, autor da proposta da TOC, destaca que o objetivo de uma empresa é “ganhar dinheiro” (“to make money”). Esse texto, escrito sob a forma de um romance, foi traduzido para a língua portuguesa com o título *A Meta*.

### 3.4 O MODELO TOYOTA E O PARADIGMA DA PRODUÇÃO ENXUTA

O controle da produção enxuta tornou-se mais complexo pelos vários parâmetros assumidos na competitividade contemporânea, sendo um deles o custo baixo; logo, qualquer tipo de desperdício deve ser evitado.

O conhecimento do Paradigma da Produção em Massa (Fordista), bem como a compreensão de que o mercado japonês possuía características distintas daquelas que justificavam a adoção plena do Fordismo, levaram à concepção de um modelo alternativo que melhor se adequasse às carências do país, então com um mercado pequeno, em termos quantitativos, mas carente no aspecto variedade e diversificação.

A produção enxuta surgiu como um sistema de manufatura cujos objetivos são: operar o sistema da produção de forma simples; otimizar os processos e procedimentos através da redução contínua de desperdícios, como, por exemplo, excesso de estoques entre as estações de trabalho, bem como tempos de espera elevados; operar com lotes reduzidos, sem estoques, até atingir a condição de produzir somente de acordo com a demanda. Seus objetivos fundamentais são a qualidade e a flexibilidade do processo, ampliando sua capacidade de produzir e competir neste cenário globalizado.

São sete os tipos de desperdícios identificados por Shigeo Shingo para o Sistema Toyota de Produção e que devem, portanto, ser controlados:

- **superprodução:** produzir excessivamente ou cedo demais, resultando em um fluxo pobre de peças e informações, ou excesso de inventário;
- **espera:** longos períodos de ociosidade de pessoas, peças e informação, resultando em um fluxo pobre, bem como em *lead times* longos;
- **transporte excessivo:** movimento excessivo de pessoas, informação ou peças resultando em dispêndio desnecessário de capital, tempo e energia;
- **processos inadequados:** utilização do jogo errado de ferramentas, sistemas ou procedimentos, geralmente quando uma aproximação mais simples pode ser mais efetiva;
- **estoque desnecessário:** armazenamento excessivo e falta de informação ou produtos, resultando em custos excessivos e baixa performance do serviço prestado ao cliente;
- **movimentação desnecessária:** desorganização do ambiente de trabalho, resultando em baixa performance dos aspectos ergonômicos e perda freqüente de itens.
- **produtos defeituosos:** problemas freqüentes nas cartas de processo, problemas de qualidade do produto ou baixa performance na entrega.

A idéia central da produção enxuta é a de que, num mercado global, com saturação do consumo, um fator-chave é o preço. A oferta passa a ser maior que a demanda, e o preço passa a ser regulado externamente à empresa, pelo mercado. Assim, as empresas precisam focalizar os custos, que passam a ser a única variável passível de ser manipulada, trabalhada pela própria empresa. A questão de otimização dos custos passa a acontecer junto com um atendimento à diversificação e aos baixos volumes de produtos de qualidade, entregues nas especificações e dentro dos prazos estabelecidos pelos clientes.

Esse modo de produção enxuta, também denominado *Just-In-Time* (JIT), significa “produzir os produtos certos, na quantidade certa, na hora certa e na qualidade especificada”. Confrontando com as dimensões da competitividade, significa controlar adequada e simultaneamente os fatores qualidade, custo, prazo, confiabilidade e velocidade.

Como o objetivo é produzir menores lotes de uma variedade crescente de itens, a previsibilidade é fundamental para o sucesso do sistema. Assim, nesse contexto, muitas empresas japonesas entraram os anos 80 com suas linhas de montagem produzindo seqüencialmente pequenos lotes de itens diferenciados, já renunciando o que seria a fase da customização maciça. Em 1990, a Toyota oferecia aos consumidores de todo o mundo tantos produtos quanto a General Motors, mesmo sendo menor do que esta.

Outros “sistemas de produção” são o MRP – *Material Requirements Planning*, o MRP II – *Manufacturing Resources Planning* ou a Teoria das Restrições – TOC, do inglês *Theory of Constraints*, criados com este objetivo, como alternativas de aplicação mais específica nas organizações, tentando contribuir para sua competitividade, independente do paradigma da produção vigente.

No mundo ocidental tem se verificado um movimento de reconhecimento do papel estratégico da manufatura e da otimização do processo produtivo e do seu controle, sobretudo na redução de seus custos. Assim, grande parte das empresas ocidentais tem se empenhado na implementação de processos de transformação de acordo com as técnicas da filosofia de produção enxuta.

### 3.4.1 *Lean production*

O principal objetivo da *lean production* é a redução do tempo entre o momento do pedido do cliente e o momento da entrega do produto/serviço para ele, obtida pelo controle e a eliminação dos desperdícios. Pode-se classificar como desperdício: máquinas paradas à espera de peças ou em manutenção, transporte, refugos, estoques altos etc.

*Lean production* engloba o conjunto de técnicas desenvolvidas nos anos 70 por fabricantes japoneses, como a Toyota e a Matsushita, para reduzir os custos de produção e aumentar a competitividade. Foi um conceito popularizado no estudo sobre a indústria de automóvel do MIT, designado “The Machine that Change the World”, que investigou as causas associadas à superioridade dos japoneses nos domínios da produtividade, flexibilidade, rapidez e qualidade.

O conceito de *lean production* é baseado em quatro princípios: trabalho de equipe, comunicação, uso eficiente de recursos e eliminação de desperdícios, dentro de um processo de melhoria contínua (a que os japoneses chamam *kaizen*). Grande parte das empresas ocidentais tem se empenhado na implementação de processos de transformação de acordo com as técnicas da filosofia de produção enxuta, motivando iniciativas no sentido de sistematizar e adaptar as técnicas japonesas de produção às empresas ocidentais.

Para controlar e minimizar os desperdícios de produção e seus efeitos e prosseguir com a busca contínua de “zero defeitos, tempo de preparação zero, estoque zero, movimentação zero, quebra zero, *lead time* zero e lote unitário”, a produção enxuta se vale de algumas técnicas e ferramentas como o *layout* celular, o *kanban*, o mapeamento do fluxo de valor, entre outras.

À primeira vista, pode ser julgado que a *lean production* se configura como um sistema antagônico aos princípios de dois outros métodos de produção já classicamente consagrados: a manufatura artesanal e a manufatura em massa. No entanto, ao se aprofundar o estudo dos conceitos básicos envolvidos na caracterização do pensamento enxuto, ou *lean thinking*, conclui-se que a manufatura enxuta, na verdade, combina as melhores características da produção artesanal (produtos de alta qualidade, individualizados e customizados) com as da produção em massa (fabricação de produtos de qualidade aceitável, em grandes quantidades, com muito pequena ou nenhuma margem de individualização ou customização, para satisfazer as necessidades de um grande número de consumidores, a preços mais baixos). É exatamente esse o motivo pelo qual os princípios *lean* têm sido aplicados por todo o mundo, com grande sucesso, na indústria automotiva e estão sendo empregados crescentemente em muitos outros setores industriais.

Conforme o Production System Design Laboratory (PSD) do Massachusetts Institute of Technology (MIT), onde trabalhavam os idealizadores dos conceitos básicos da Filosofia *Lean*, ou *Lean Production*, esta pode ser definida da seguinte maneira, abrangendo praticamente todas as áreas envolvidas no processo produtivo:

A manufatura enxuta visa o controle e a eliminação de desperdícios em todas as áreas da produção, inclusive nos relacionamentos com os clientes, no projeto do produto, nas ligações com os fornecedores e na gestão da fábrica. Seu objetivo é incorporar menos esforço humano, menos estoques, menor tempo para desenvolver produtos e menor espaço, para se tornar altamente responsiva à de-

manda do cliente/consumidor, enquanto se fabricam produtos de alta qualidade, da maneira mais eficiente e econômica possível.

Originalmente, de modo mais tradicional e acadêmico, a definição de manufatura enxuta, brilhantemente elaborada por Womack et al. (1991), é que a mesma se trata, na verdade, de um conjunto homogêneo, e dinamicamente interativo, de práticas operacionais e comportamentais que visam obter:

- o fluxo integrado e unitário (*single piece*) de produção, com lotes pequenos e baixíssimo nível de estoque, resultante do *just-in-time*;
- a prevenção de defeitos, e não a retificação das falhas;
- a produção puxada, com demanda suavizada, e não a produção empurrada;
- a organização do trabalho baseada em times, com alta flexibilidade e contando com uma força de trabalho multiespecializada, com pouca mão-de-obra indireta;
- o envolvimento ativo na solução das causas fundamentais (causas-raiz) dos problemas, objetivando-se maximizar o valor agregado;
- a grande integração desde a matéria-prima até o cliente, por meio dos conceitos de parceria;
- a grande redução da carga de trabalho sobre a mão-de-obra indireta (*overhead*), graças ao uso de times compostos matricialmente, simplificando o fluxo e o processamento de informações, além de permitir maior “achatamento” das estruturas hierárquicas organizacionais (Clarke & Fujimoto, 1991).

### Princípios da produção enxuta

#### *Valor (percebido pelo cliente)*

O ponto de partida essencial para o pensamento enxuto é o valor. O valor só pode ser definido pelo cliente final e adotado pelo produtor. Do ponto de vista do cliente, é para isso que os produtores existem.

O pensamento enxuto deve começar com uma tentativa consciente de definir precisamente o valor em termos de produtos específicos, com capacidades específicas, oferecidas a preços específicos, através do diálogo com clientes específicos.

ATIVIDADES QUE NÃO AGREGAM VALOR
Inventário
Transporte
Movimentação Interna
Espera
Processo
Não-conformidades
Super produção

### A cadeia de valor

É o conjunto de todas as ações específicas, necessárias para se levar um produto específico (seja ele um bem, um serviço, ou, cada vez mais, uma combinação dos dois) a passar pelas três tarefas gerenciais mais críticas em qualquer negócio:

- a tarefa de solução de problemas, que vai desde a concepção até o lançamento do produto, passando pelo projeto detalhado e pela engenharia;
- a tarefa de gerenciamento da informação, que vai do recebimento do pedido até a entrega, seguindo um detalhado cronograma;
- a tarefa de transformação física, que vai da matéria-prima ao produto acabado nas mãos do cliente.



A cadeia de valor (Figura 3.12) é um processo pelo qual um grupo de empresas, operando de forma interligada, adiciona valor a um produto, ao longo do processo operativo, até a entrega do produto ao consumidor, incluindo a prestação de alguns serviços adicionais.

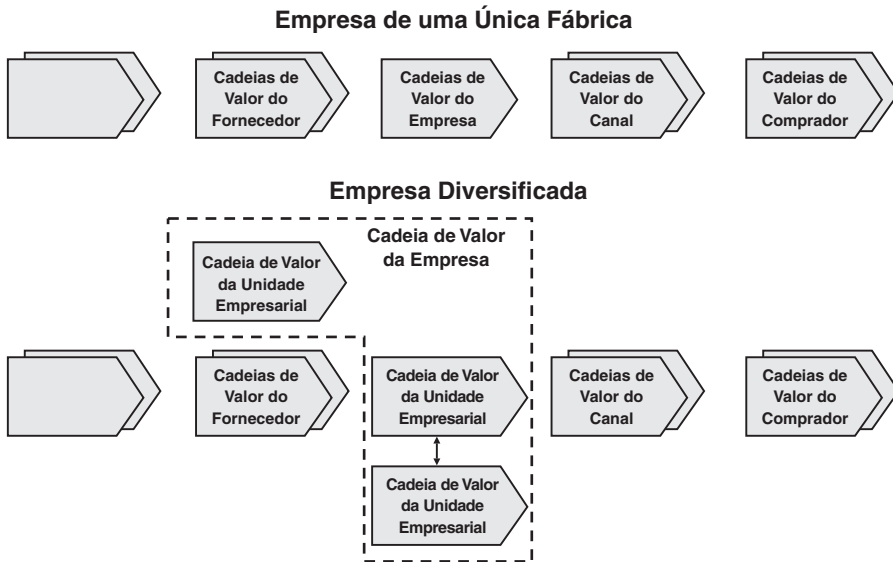


Figura 3.12. Cadeia de Valor de Porter.

### A cadeia de valores interna

A cadeia de valores interna, ilustrada na Figura 3.13, é composta de atividades que adicionam valor ao produto, sendo classificadas em atividades primárias, que adicionam diretamente valor ao produto, e atividades de apoio, que através do suporte às demais atividades, adicionam valor indiretamente ao produto.



Fonte: Adaptada de Rother e Shook (1998, p.3)

Figura 3.13.

A forma como a empresa gerencia sua cadeia de valores interna irá determinar sua capacidade de competir no mercado. Uma das idéias básicas é que a empresa procure focar seus esforços nas atividades em que tem maior competência.

### 3.4.2 Fluxo de valor

O Mapeamento do Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping*) é uma ferramenta das mais utilizadas no universo de aplicações da produção enxuta. Entende-se por fluxo de valor o conjunto de todas as atividades que ocorrem desde a obtenção de matéria-prima até a entrega ao consumidor do produto final. Essa ferramenta é um método de modelagem de empresas relativamente simples (utiliza papel e lápis) com um procedimento para construção de cenários de manufatura. Essa modelagem leva em

consideração tanto o fluxo de materiais como o fluxo de informações, e ajuda bastante no processo de visualização da situação atual e na construção da situação futura.

Nascemos em um mundo mental de “funções” e “departamentos”, o que nos leva à convicção comum de que as atividades devem ser agrupadas pelo tipo, para que possam ser realizadas de forma mais eficiente e gerenciadas com mais facilidade. Além disso, para que tarefas sejam executadas eficientemente dentro dos departamentos, o bom senso diz que se deve realizar as tarefas semelhantes em lotes.

Um exemplo clássico desse pensamento é o caso dos agricultores, à medida que ficaram obcecados pelos lotes (a colheita anual) e estoques (a armazenagem de grãos).

Os primeiros a perceber o potencial do fluxo foram Henry Ford e seus sócios, em 1913. Ford reduziu em 90% a quantidade de esforço necessário para montar o modelo T da Ford, adotando o fluxo contínuo na montagem. Mas ele só descobriu o caso especial, pois seu método funcionava quando os volumes de produção eram suficientemente altos para justificar as linhas de montagem de alta velocidade. No caso geral, o verdadeiro desafio é criar o fluxo contínuo na produção de pequenos lotes, de dezenas ou centenas de cópias de um produto, e não de milhões.

A Toyota obteve o fluxo contínuo na produção em baixo volume, na maioria dos casos sem linhas de montagem, aprendendo a trocar rapidamente de ferramentas quando da troca da fabricação/montagem de um produto para o próximo e dimensionando corretamente a capacidade, o formato e a disposição das máquinas, para que as etapas de processamento de diferentes tipos (por exemplo: molde, pintura e montagem) pudessem ser realizadas imediatamente umas após as outras, enquanto o objeto em produção era mantido em um fluxo contínuo.

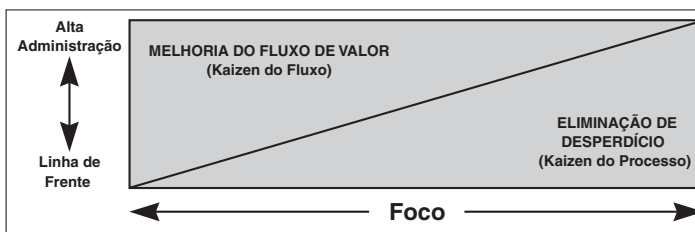
### Mapeamento do fluxo de valor

Depois de conhecidos os fatos históricos e abordados os conceitos básicos, cuja compreensão é essencial para se visualizar toda a abrangência do “pensamento enxuto” que orienta a Manufatura Enxuta, faz-se necessário estabelecer um alicerce, uma base, cuja função estratégica seja estruturar toda a implementação – o Mapeamento do Fluxo de Valor:

- fluxo da produção, desde a matéria-prima até o consumidor;
- fluxo do projeto do produto, da concepção até o lançamento.

O mapeamento do fluxo de valor é ilustrado na Figura 3.14.

Quando não é possível criar fluxo contínuo, o sistema *Lean Production* adota um supermercado de peças no processo produtivo e, em geral, um supermercado também na expedição. Quando sai um pedido, “puxa-se” a produção. Assim, não se fabrica mais segundo um planejamento do que se julga que será vendido, mas apenas para se repor a quantidade de peças que foi consumida do supermercado final. Na prática denominada puxar a produção, o pedido do cliente, ou célula de trabalho seguinte, é que dispara todo o processo produtivo – numa lógica de sincronização para trás, ou seja, todos os recursos colocados à disposição da produção movimentam-se na medida das necessidades dos clientes colocadas na forma de pedidos ou de novos produtos.



Fonte: Adaptada de Rother e Shook (1998, p.6)

**Figura 3.14.** Gerenciando o fluxo do valor.

Por outro lado, ela é uma ferramenta que, assim como as outras da produção enxuta, que se concentra mais nas questões relativas à redução do *lead time* (dimensão tempo) dos sistemas. A dimensão tempo parece ser a principal e, às vezes, a única dimensão considerada nesse tipo de ferramenta. Este trabalho pretende trazer também a dimensão custo ao processo de análise e de tomada de decisão em aplicações da produção enxuta.

Nesse sentido, é preciso uma análise racional que justifique também as vantagens e desvantagens econômicas derivadas do fato de se destinarem certos recursos para a melhoria de determinado processo de uma organização. Dessa forma, o Mapeamento do Fluxo de Valor é uma ferramenta particularmente interessante para a redução contínua dos desperdícios. A idéia é obter com ela uma visualização clara dos processos de manufatura e de alguns de seus desperdícios, bem como diretrizes eficazes de análise que auxiliem no projeto de otimização do fluxo e eliminação desses desperdícios.

### 3.4.3 Conseqüências da produção enxuta

O primeiro efeito visível da conversão de departamentos e lotes em equipes de produção e fluxo é que o tempo necessário para passar da concepção ao lançamento, da venda à entrega, da matéria-prima ao cliente, cai drasticamente, como citam Womack e Jones (1996) avaliando o exemplo da Porsche na redução do tempo da concepção ao lançamento de um novo modelo de 7 (em 1991) para 3 anos (em 1997).

Na verdade, com a aplicação motivada e consciente dos conceitos e métodos da manufatura enxuta, a expectativa é reduzir rapidamente o tempo de permanência na produção (*throughput*) à metade no desenvolvimento de produtos, em 75% no processamento de pedidos e em 90% na produção física.

Os sistemas enxutos podem gerar qualquer produto atualmente em fabricação, em qualquer combinação, de modo a acomodar imediatamente as mudanças na demanda.

Isso produz um fluxo de caixa extra, decorrente da redução dos estoques, e acelera o retorno sobre o investimento. Na verdade, a capacidade de projetar, programar e fabricar exatamente o que e quando o cliente quer significa que se pode prescindir da projeção de vendas e simplesmente fazer o que os clientes necessitam, ou seja, pode-se deixar que o cliente puxe o produto, quando necessário, em vez de empurrar o produto, muitas vezes indesejado, para o cliente.

À medida que as organizações começarem a especificar com precisão o valor, a identificar a cadeia de valor como um todo, e à medida que fizerem com que os passos para criação de valor referentes fluam continuamente, deixando que os clientes puxem o valor da empresa, algo muito estranho começará a acontecer. Ocorre aos envolvidos que o processo de redução de esforço, tempo, espaço, custo e erros é contínuo e incessante, sendo que, ao mesmo tempo, se passa a oferecer um produto que se aproxima ainda mais daquilo que o cliente realmente quer. De repente, a perfeição, o quinto e último conceito do pensamento enxuto, não parece uma idéia tão distante.

Isso pode ser afirmado porque os quatro princípios iniciais interagem em um círculo poderoso. Fazer com que o valor flua mais rápido sempre expõe “muda” oculto na cadeia de valor. E quanto mais você puxar, mais revelará os obstáculos ao fluxo, permitindo sua eliminação.

### 3.4.4 Empresa enxuta

O conceito *lean* considera reduzir o tempo entre o pedido do cliente até a fabricação e a entrega dos produtos, através da eliminação do desperdício que não agrega valor. O ideal de um sistema enxuto é um fluxo de uma só peça. Um fabricante *lean* está em contínua melhoria, rumo àquele ideal.

Características similares, que descrevem as práticas *lean* de acordo com os estudos inicialmente executados na indústria automotiva por Womack et al. (1990) são:

- é um processo dinâmico de mudança dirigido por um conjunto sistêmico de princípios e melhores práticas voltadas para a melhoria contínua;

- refere-se à empresa como um todo, do chão-de-fábrica aos mais altos níveis executivos, e à cadeia de valor desde o fornecedor até o cliente;
- requer a eliminação de tudo o que não agregue valor;
- a transformação para um estado *lean* é um processo complexo.

Não existe algo único que torne uma organização enxuta. A produção *lean* implica a utilização ótima das habilidades da força de trabalho, atribuindo aos funcionários mais de uma tarefa, integrando o trabalho desenvolvido pelas mãos-de-obra direta e indireta e encorajando atividades de melhoria contínua. Como resultado, a produção *lean* é capaz de fabricar uma grande variedade de produtos, a custos mais baixos e com qualidade maior, com menor quantidade de cada *input*, se comparada com a produção em massa tradicional: menos esforço humano, menos espaço, menos investimento e menos tempo de desenvolvimento. Para serem competitivas, as empresas chegaram à conclusão de que devem planejar e controlar, principalmente em:

- qualidade além (do nível) da competição;
- tecnologia (dominada) antes da competição;
- custos abaixo (daqueles) da competição (WATSON, 1994).

Em outras palavras, as empresas devem se autocontrolar e esforçar para ser melhores, mais rápidas e mais baratas que os seus competidores. Essas são algumas das características do paradigma *lean*.

Faz-se necessário chamar a atenção para a crescente área de atuação dos conceitos *lean* em uma empresa. Verdadeiramente, esses atributos representam, de forma abrangente, o que pode ser descrito como os Princípios das Melhores Práticas (*Best Practice Principles*) que se espera poder observar em uma tradicional empresa de manufatura enxuta de altos volumes de produção como a automotiva, por exemplo.

Por outro lado, ao adotar essa abordagem mais holística, fundamentalmente necessária para analisar a disseminação da filosofia enxuta para as demais áreas das empresas, verifica-se que os principais benefícios da manufatura enxuta incluem, mas não se limitando somente a isto, o uso de cada vez menos recursos (otimizando-se o *input*), o trabalho em um ciclo de desenvolvimento e fabricação de produto rápido e eficiente (otimizando-se o *throughput*), obtendo uma qualidade cada vez maior a um custo cada vez menor, com uma grande flexibilidade (otimizando-se, dessa maneira, o *output*).

Em se tratando de verificar os aspectos positivos da incorporação das práticas de uma empresa enxuta, ou *lean enterprise*, tem-se que os maiores benefícios em potencial para a indústria aeronáutica podem advir da obtenção de um valor significativamente maior na aquisição de sistemas, tanto novos quanto já existentes, com eficiência aumentada, maior qualidade e tecnologia aprimorada, incluindo um processo de gerenciamento substancialmente mais simplificado e eficiente, ou melhor, enxuto.

Os princípios-chave da manufatura enxuta podem ser praticamente explicados como sendo os seguintes:

- qualidade perfeita na primeira vez, por meio da busca pelo índice de zero defeitos, esclarecendo e resolvendo problemas em sua fonte mais primária, obtendo simultaneamente maior qualidade e elevada produtividade, trabalho em equipe e transferência de maior autonomia, responsabilidade e capacidade de decisão para os trabalhadores;
- eliminação ou minimização do desperdício, por intermédio da remoção de todas as atividades que não agreguem valor, do uso mais eficiente dos recursos escassos (capital, pessoas e espaço), do fluxo de abastecimento das operações produtivas e logísticas em *just-in-time* (eliminando-se uma grande parte do tempo desperdiçado durante as esperas) e da eliminação dos estoques de segurança, onde quer que isso seja possível, sem trazer riscos elevados ao atendimento das necessidades dos clientes;

- melhoria contínua (redução de custos, melhoria da qualidade e aumento da produtividade) por meio de um processo dinâmico de mudança, desenvolvimento simultâneo e integrado de produtos e processos, rápidos *cycle time* e *time-to-market*, além do amplo compartilhamento e abertura de informações;
- flexibilidade na produção rápida de diferentes *mixes* ou maior diversidade de produtos, sem sacrificar a eficiência em volumes mais baixos de produção, através de *setup* mais rápido e da fabricação em lotes menores, objetivando atingir o lote ideal de tamanho unitário;
- relacionamentos de longo prazo entre fornecedores e fabricantes primários, montadores e integradores de sistemas, por intermédio de arranjos de divisão colaborativa de riscos e compartilhamento de custos e de informações.

Resumidamente pode-se dizer que o sentido prático do termo enxuto, ou *lean*, trata da disponibilização/obtenção das coisas certas no lugar certo, no momento certo, logo da primeira vez, enquanto se minimiza o desperdício e se mantém uma postura aberta a mudanças, tanto administrativa quanto operacionalmente. Nesse conceito mais resumido, *lean* pode significar, certamente, menos desperdício, menor tempo de projeto, menos níveis hierárquicos e menor quantidade de fornecedores. Mas *lean* pode também significar mais delegação de poderes para os funcionários, mais flexibilidade e capacidade, maior produtividade, mais satisfação para o cliente e, indubitavelmente, mais sucesso competitivo a longo prazo. Os princípios *lean*, incorporados ao trabalho de hoje, podem significar a sobrevivência do negócio no futuro.

### 3.4.5 Integração: Empresa enxuta – Seis Sigma (*Lean Sigma*)

É baseado em duas comprovadas abordagens gerenciais, o pensamento *lean* e a Filosofia Seis Sigma. O *lean production* ou operação enxuta visa a remover as atividades que não agregam valor e melhorar o desempenho das que agregam com o objetivo de reduzir tempos. Preza a rapidez da entrega do produto ao cliente, reabastece o almoxarifado, responde a uma reclamação, fecha um pedido de compra, lança um novo produto no mercado, fecha o balanço financeiro etc. A Toyota foi a organização pioneira na implantação dessa filosofia.

A filosofia Seis Sigma visa a redução da variação nos processos para evitar a ocorrência de erros, ou seja, aumentar a qualidade. Utiliza diversas ferramentas estatísticas de controle e consagradas na área de qualidade e visa atingir a qualidade através da robustez dos processos-chave. Empresa pioneira: Motorola. Outras empresas que adotaram o Seis Sigma: GE, Sony, Allied Signal.

*Lean Sigma* é uma estratégia empresarial de mudança focada no consumidor, com o objetivo de entregar resultados rápidos. Utiliza a abordagem DMAIC,<sup>5</sup> e tem sua estrutura básica formada por Black Belts e Green Belts, responsáveis pela execução dos projetos de melhoria. Guiada pela liderança da empresa e pelas necessidades do mercado, o Lean Sigma:

- Utiliza trabalho em equipe e ferramentas para nivelar talentos.
- Busca a simplificação dos processos e a eliminação de suas variações.
- Apresenta cinco princípios que englobam tanto cliente, cultura e conceitos de *lean* e seis sigma:
  1. Especificar o que é valor de acordo com a visão do cliente.
  2. Identificar o fluxo de valor pela organização, eliminar os desperdícios e a variação.
  3. Fazer o valor fluir de acordo com a demanda do cliente.
  4. Envolver, alinhar e motivar os funcionários.
  5. Melhorar continuamente o conhecimento, buscando a perfeição.

<sup>5</sup> DMAIC – Sigla que significa Definir (D), Medir (M), Analisar (A), Melhorar (I, do inglês *Improve*) e Controlar (C). No Seis Sigma, cada projeto de melhoria tem essas fases bem definidas.

Para ilustrar o Lean Sigma, pode-se utilizar a seguinte expressão

$$\text{Valor} = f(Q, S, P, V, M)$$

Q = Qualidade

S = Serviço

P = Preço

V = Variedade

M = Motivação de pessoas

### 3.5 REVISÃO DOS CONCEITOS

A compreensão do conceito dos sistemas de gestão, seus tipos e características é fundamental para o bom desempenho do Planejamento e Controle da Produção em empresas de manufatura ou serviços.

Ter esses conceitos bem estabelecidos e claros é imprescindível para que o engenheiro de produção exerça com lucidez e precisão suas tarefas de planejar, programar e controlar os sistemas produtivos.

Neste capítulo, discutiu-se a classificação dos sistemas de produção, ilustrando com os tipos de arranjo físico associados a cada classificação de sistemas de produção.

Adicionalmente, o capítulo explorou conceitos que serão estudados nos próximos capítulos: *just-in-time*; paradigmas massa e enxuta; produção empurrada *versus* puxada; *lean production*; *lean-six sigma*. Vale destacar que, neste texto, buscou-se apresentar os fundamentos dos sistemas de produção, um tema bastante amplo e importante para a gestão da produção.

O leitor interessado em aprofundar os conceitos aqui abordados não terá dificuldade em encontrar referências bibliográficas e recursos na internet a respeito do tema (artigos, software, grupos de discussão etc).

Um referencial para a Engenharia de Produção é a página da ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção ([www.abepro.org.br](http://www.abepro.org.br)) –, onde o leitor poderá explorar os anais do Enegep e acessar páginas de periódicos desenvolvidos pela ABEPRO ou por outras instituições de pesquisa do Brasil e no mundo.

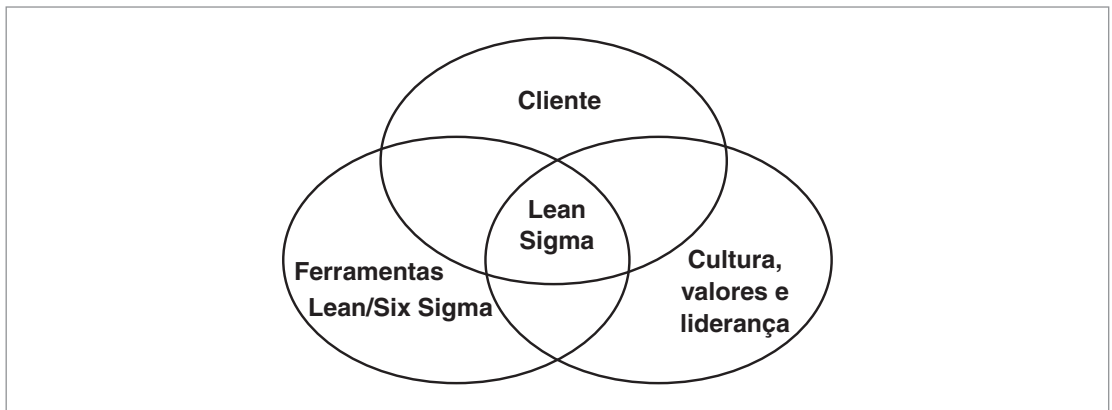


Figura 3.15. Abordagem geral do Lean Sigma

## Implementando um sistema baseado na TOC

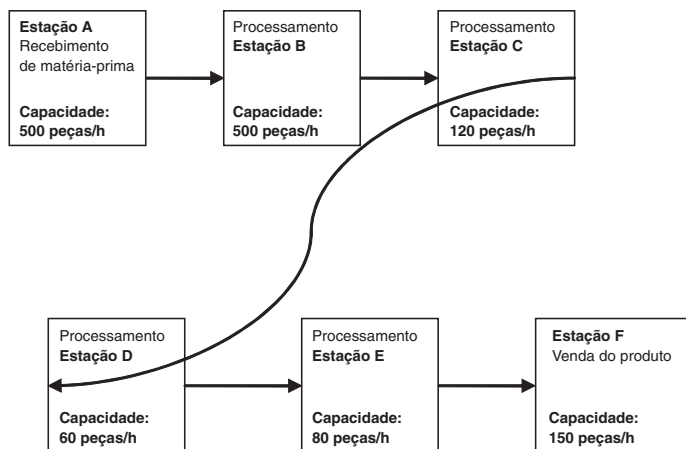
Ao aplicar a TOC em um sistema de produção, assume-se que o lucro é maximizado quando se maximiza o fluxo através do sistema. Por outro lado, o fluxo é limitado pelas restrições do sistema de produção, visto que o fluxo máximo do sistema é igual ao máximo fluxo da estação com maior restrição.<sup>6</sup> Ou seja: o ganho do sistema é limitado pelo fluxo da estação com maior restrição. Observa-se que a restrição (também denotada por gargalo) que modula o fluxo do sistema pode ocorrer tanto no ambiente interno da organização quanto no externo (cadeia de fornecedores ou mercado consumidor).

Os cinco passos seguintes são fundamentais na implantação e manutenção de um sistema de produção estruturado com base na TOC:

- identificar as restrições (gargalos) dos sistemas;
- focar a melhoria do desempenho do gargalo (maximizar o fluxo na restrição);
- programar as demais estações (estações não gargalo) em função do fluxo no gargalo;
- aumentar a capacidade projetada para o gargalo;
- repetir os passos anteriores continuamente.

A seguir apresentam-se considerações sobre cada um desses passos. Para tal, considera-se o sistema de produção representado de forma esquemática na Figura 3.16. Esse sistema de produção é denominado *Sistema-laboratório*.

Nessa figura estão representadas estações de trabalho internas à organização e, também, algumas das interfaces do sistema com aspectos relevantes do ambiente: fornecimento de matéria-prima e vendas. Observe que tanto o fornecimento de matéria-prima, quanto a venda de produtos foram considerados elementos da cadeia de produção. Isso é feito para destacar que, eventualmente, os “gargalos” podem estar localizados no fornecimento ou nos postos de venda do produto.



**Figura 3.16.** Representação esquemática da cadeia de produção do sistema-laboratório.

Buscando atender a aspectos didáticos, algumas simplificações foram adotadas nesse sistema de produção: as estações internas estão todas em uma mesma linha, e algumas interfaces, como disponibilidade de energia, transporte, mão-de-obra e tecnologia, não foram apresentadas. Essas simplificações não implicam perda de generalidade quanto à descrição da implantação da TOC. A seguir apresenta-se uma descrição detalhada desses passos:

<sup>6</sup> Esta interpretação é análoga à interpretação da “resistência” de uma cadeia ou corrente formada por elos: a corrente é tão resistente quanto a resistência de seu elo mais fraco.

- a) **Identificar o gargalo.** Em um sistema de produção já operando, o gargalo pode ser identificado visualmente como sendo a **estação de trabalho**<sup>7</sup> que apresenta a maior fila. Alternativamente, pode-se fazer uso da programação matemática como forma de identificar o gargalo, sendo, nesse caso, a estação cuja folga inviabiliza o aumento da quantidade produzida em mais uma unidade. Essa segunda abordagem é principalmente relevante na modelagem e simulação de sistemas de produção, embora possa ser usada também em sistemas que já estejam em fase de operação.

Exemplo 1: Seja a cadeia do *Sistema-laboratório*. Conforme pode ser observado na Figura 3.17, o gargalo é a estação de trabalho **D**, pois limita a produção do *Sistema-laboratório* a 60 peças por hora.

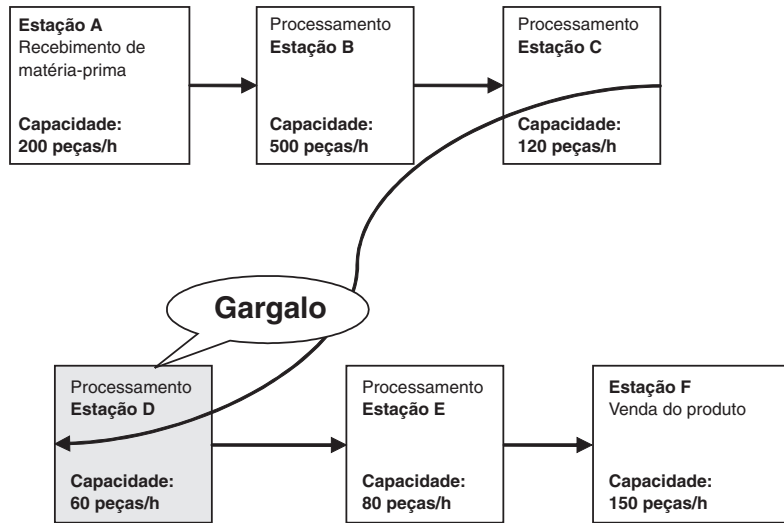


Figura 3.17. Cadeia de produção do sistema-laboratório e gargalo.

- b) **Focar a melhoria do desempenho e do grau de utilização do gargalo.** O gargalo deve ser gerenciado buscando-se o aumento da sua eficiência e do seu grau de utilização, maximizando o desempenho do sistema como um todo. Por exemplo:
- mantendo a capacidade projetada,<sup>8</sup> alterações na eficiência ou no grau de utilização da estação **D** que impliquem um aumento de 30% da capacidade operacional dessa estação (o que corresponde à mudança da capacidade da mesma para 78 peças/h) resultam em um aumento do fluxo ao longo do sistema. A capacidade do sistema aumenta para 78 peças por hora, o que representa um ganho para o sistema como um todo;
  - colocando a estação de trabalho B para operar em turnos adicionais ou em regime de horas extras, pode-se aumentar o grau de utilização do gargalo.

**Nota:** Uma redução da capacidade operacional da estação da estação **E** implica em uma **redução** do fluxo ao longo do sistema, ou seja, a estação gargalo faz parte do que se convencionou chamar de **corrente crítica**.<sup>9</sup>

<sup>7</sup> A partir deste ponto, neste capítulo considera-se como estação de trabalho qualquer unidade ao longo da cadeia de produção, incluindo as interfaces com o ambiente externo à empresa, tais como: fornecimento e vendas.

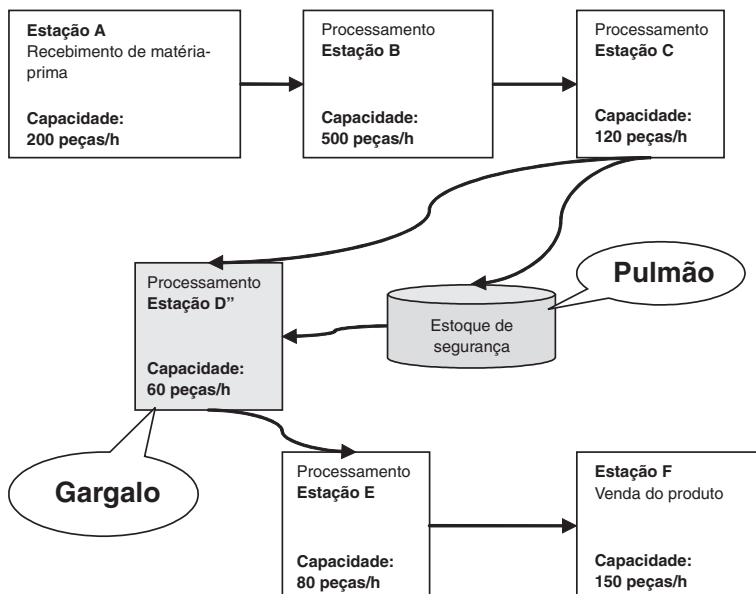
<sup>8</sup> Ver definição de capacidade operacional e capacidade projetada no Capítulo 7.

<sup>9</sup> Em analogia com o conceito de resistência de uma cadeia de elos (ou corrente) em que a mesma é tão resistente quanto o seu elo menos resistente, considera-se que o fluxo em uma cadeia de produção é tão rápido quanto o fluxo em seu elo (estação de trabalho) mais lento.



- c) **Programar as demais estações (estações não-gargalo) em função do fluxo no gargalo.** Por exemplo:
- não adianta manter a estação **B** operando em sua carga máxima (que corresponde a uma produção de 500 peças/h), pois isso não resulta em aumento do fluxo ao longo do sistema. A capacidade do sistema continua sendo de 60 peças por hora. Mais ainda, essa ação levaria a um aumento dos estoques intermediários e de custos com a manutenção dos mesmos. Esse mesmo raciocínio se aplica às demais estações *não-gargalo*. Assim, o comportamento do gargalo deve influenciar o gerenciamento das demais estações;
  - programar as estações a montante do gargalo para que seja gerado um estoque de segurança, ou **pulmão**, antes de cada gargalo. Considerando um sistema de produção estocástico, esse pulmão serve para amortecer flutuações na produção das estações anteriores ao gargalo, de forma a aumentar o seu grau de utilização. A Figura 3.18 ilustra o conceito de pulmão na cadeia de produção.
- d) **Aumentar a capacidade projetada para o gargalo.** Para aumentar a capacidade do sistema, pode não ser suficiente aumentar a capacidade operacional da estação gargalo. Nesse caso, pode-se aumentar a capacidade da mesma aumentando a capacidade projetada. Por exemplo:
- substituir a máquina da estação D por uma máquina com maior capacidade. Ou mesmo (ver Figura 3.19) incluir uma nova estação (Estação D'') em paralelo à estação D que tenha capacidade de efetuar as operações realizadas em D.
- e) **Repetir os passos (a) até (d) continuamente.** Os gargalos podem "mudar de lugar", ou seja, uma vez que seja aumentado o fluxo no gargalo para valores superiores ao de pelo menos uma outra estação na cadeia, essa outra estação passa a ser o gargalo, e os mesmos procedimentos para se elevar o novo gargalo devem ser aplicados. Por exemplo:
- se a capacidade da estação D do *Sistema-laboratório* for duplicada, o gargalo passa a ser a estação **E**, conforme pode ser observado na Figura 3.20.

Uma forma usual para se aumentar a capacidade de produção do sistema é aumentar a capacidade do gargalo pela subcontratação ou terceirização. Em geral, essa é uma medida de caráter temporário e é adotada para atender a flutuações temporais na cadeia: seja na demanda ou na disponibilidade de máquinas na planta, como a parada de máquinas para manutenção. Essa medida traz vantagens e desvantagens (como um possível fortalecimento de concorrente), que serão tratadas no Capítulo 6.



**Figura 3.18.** Cadeia de produção do *sistema-laboratório*: gargalo e pulmão.

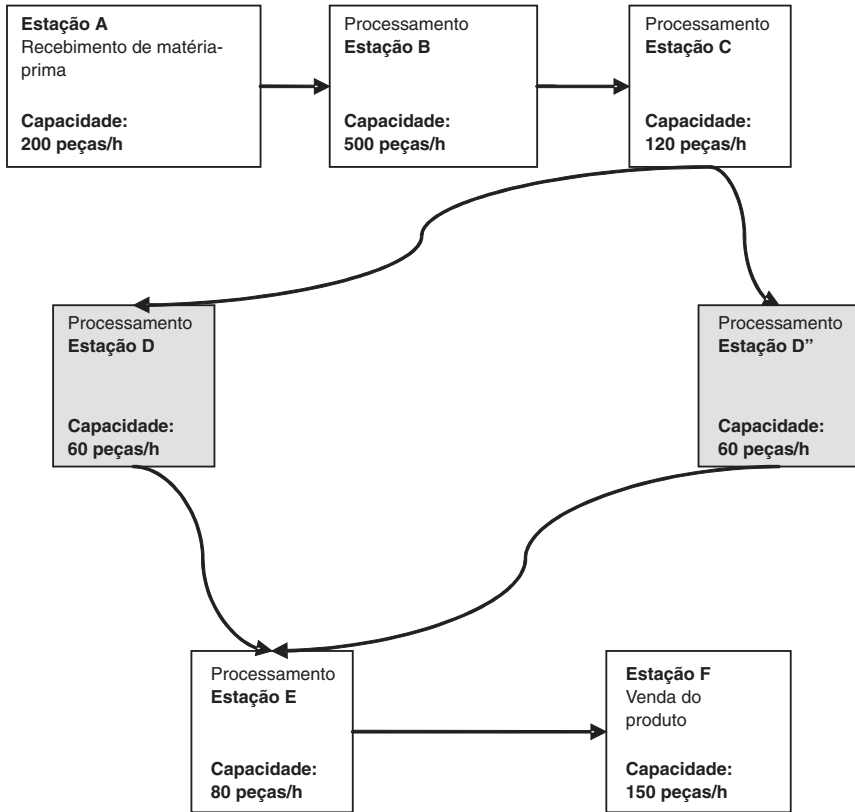


Figura 3.19. Cadeia de produção do sistema-laboratório e gargalo.

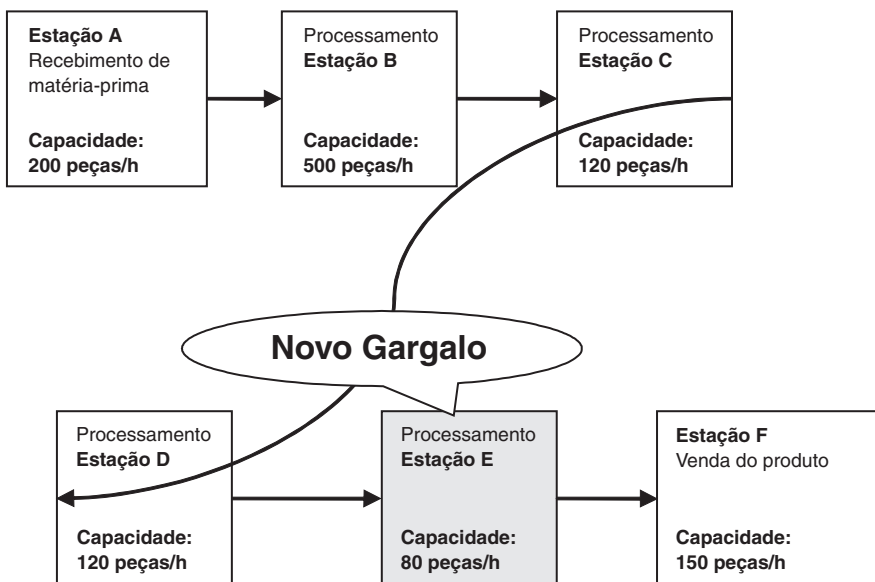


Figura 3.20. Cadeia de produção do sistema-laboratório e gargalo.

## TOC e indicadores de desempenho

Alguns indicadores de desempenho têm sido *tradicionalmente* adotados para se avaliar se uma empresa está tendo ganho: lucro líquido, retorno sobre o investimento (*Return Over Investment*, ROI) e fluxo de caixa. A adoção isolada de cada um desses indicadores é suficiente para se avaliar se a organização está tendo ganho? A seguir estabelece-se uma discussão em torno dessa questão.

**Lucro líquido.** Seja uma organização que teve um lucro líquido anual de R\$12.000.000,00. Ela teve um bom desempenho? E se ela investiu R\$400.000.000,00 para obter esse desempenho? E se ela investiu “apenas” R\$15.000.000,00?

**Retorno sobre Investimento.** Uma organização pode ter um alto ROI, porém seu investimento ter sido em pequena escala. Por exemplo: uma organização que investe R\$1.000,00 e tem um retorno de R\$5.000,00 apresenta um ROI excelente! Porém, o seu lucro líquido é muito mais baixo do que o de uma organização que invista R\$12.000.000,00 e tenha um retorno de R\$15.000,00.

**Fluxo de caixa.** Considere uma organização que se envolve em um projeto em cuja negociação ela obteve um excelente ROI e um excelente lucro líquido. No entanto, ela só receberá após a conclusão do projeto (que terá duração de doze meses). Durante o período do desenvolvimento do projeto, é necessário que a organização tenha um fluxo de caixa que lhe permita honrar os seus compromissos até o recebimento do pagamento.

Observa-se, então, que o uso isolado de cada um desses indicadores é insuficiente como medida para se avaliar a capacidade de a organização “ganhar grana”. Ou seja: eles devem ser usados de forma que haja uma articulação entre eles. Como obter tal articulação? A próxima seção indica um caminho.

## Indicadores de desempenho na TOC

Apesar de indicar a capacidade de a organização obter ganho, os indicadores apresentados no tópico anterior são efeitos ou conseqüências da gestão do sistema de produção e do ambiente que envolve a organização. Quais são as causas que levam a empresa ao sucesso? Quais são os indicadores associados a essas causas? Goldratt propõe três indicadores “causais” que influenciam na capacidade de a organização “obter ganho”: **taxa de vendas** (*throughput*), **investimento em estoque** (*inventory*) e **despesas operacionais** (*operational expenses*).

**Taxa de vendas.** Esta medida indica a capacidade de a empresa obter ganho através das vendas – é diferente de adotar um indicador que meça a taxa de produção, pois é na venda que se “materializa” o ganho. Ou seja: não adianta a empresa ter uma excelente taxa de produção, se ela não consegue transformar isto em lucro.<sup>10</sup>

**Gasto com fornecimento.** Esta é uma medida que identifica o dinheiro gasto com a compra e o armazenamento de itens, o qual tem de ser recuperado pela organização. Observe que, propositalmente, não se usou o termo **custos de estoque** para evitar confusões na interpretação desse conceito.

Tome como exemplo um sistema de armazenamento que tem um custo fixo de 40.000,00 e cujo custo variável é considerado desprezível, até uma capacidade de 100 unidades armazenadas. Se esse ambiente armazenar um único produto, seu custo unitário de armazenamento será de R\$4.000,00. Porém se nesse mesmo ambiente forem estocadas 100 unidades do produto, o custo unitário de estocagem pode ser considerado como R\$40,00. Conforme reportado em Goldratt (1985), esse fato pode criar a ilusão de que o sistema de estocagem e de fornecimento se tornou mais eficiente, pois reduziu o custo unitário de estocagem! Isso pode levar gerentes de estoque a aumentar a quantidade em estoque e os lotes de compra. Na **contramão** do JIT? SIM, na contramão do JIT.

<sup>10</sup> Observe na Figura 3.20 que foi incluída uma “estação de trabalho” venda do produto.

**Despesas operacionais.** Esta é uma medida associada aos processos internos ao sistema de produção. Esta medida relaciona o dinheiro gasto pelo sistema de produção para que o mesmo transforme matéria-prima em produtos de fato vendidos.

Assim como no caso anterior, essa medida deve ser lida com muita atenção. Ela é uma medida da capacidade de a empresa transformar os gastos com insumos e matéria-prima em receitas de vendas. Observe que, propositalmente, não se usou o termo **custos operacionais**, também para evitar confusões na interpretação desse conceito.

**Exemplo:** Seja uma estação de trabalho A localizada no sistema de produção do produto X. Conforme ilustrado na Figura 3.21, esse sistema tem uma capacidade global de produzir 60 unidades por hora, a qual é limitada por uma outra estação de trabalho (gargalo). A estação B tem capacidade de processar 1.000 unidades por hora de um determinado produto. Essa estação tem um custo de R\$600,00/hora, o qual independe da quantidade processada.

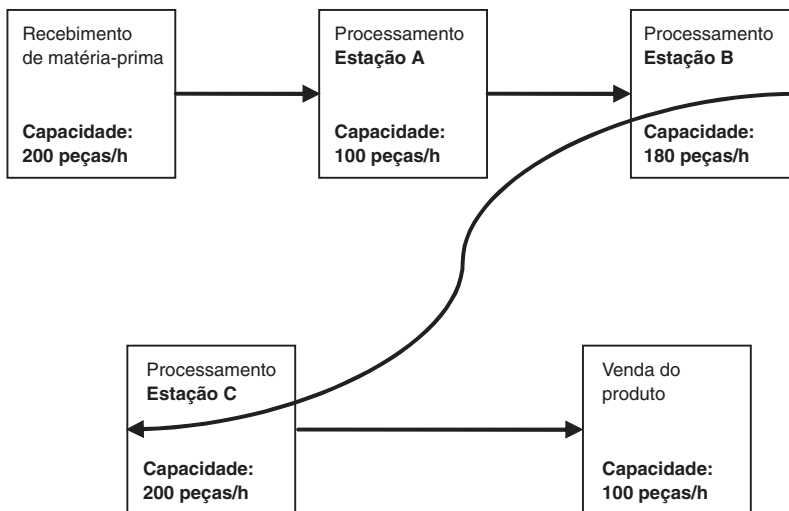


Figura 3.21. Cadeia de produção do sistema-laboratório.

Se essa estação B produzir 60 unidades/hora, sua contribuição ao custo unitário do produto X será R\$10,00. Se aumentarmos a eficiência dessa estação de trabalho de forma a processar 600 unidades do produto X, a contribuição da estação B ao custo unitário de X será de apenas R\$1,00!

**Questão:** Esta nova situação contribui com o “ganho” pelo sistema de produção? Resposta: NÃO!  
Pois:

- o gasto com a estação B continuará o mesmo: R\$600,00/h;
- a capacidade de produção do sistema também continuará a mesma: 60 unidades por hora.

De fato, na nova situação a Estação B ainda estará contribuindo para aumentar o estoque em processo! O que provavelmente ainda aumentará os gastos e **reduzirá o ganho!**

Essa situação destaca um aspecto central da TOC: a busca do ótimo global, através de uma abordagem sistêmica, em detrimento do ótimo local.

O conceito de despesas operacionais no contexto da TOC tem um impacto significativo e originou uma abordagem própria para a análise de custos gerenciais. A discussão da contribuição de TOC à análise de custos é aprofundada em Noreen (1995).

### Articulação entre indicadores da TOC e os tradicionais

Como os indicadores adotados na TOC (taxa de vendas, despesas com estoque e despesas operacionais) atuam sobre os indicadores financeiros de desempenho (lucro líquido, ROI e fluxo de caixa) da organização? Nesta seção, busca-se responder a essa pergunta, indicando como os grupos de indicadores estão relacionados.

- Quando ocorre uma melhora no indicador **taxa de vendas**, mantendo-se constantes as despesas com estoque e as despesas operacionais, o resultado dos seguintes indicadores também melhora: lucro líquido, ROI e fluxo de caixa. A Figura 3.22 ilustra um grafo que destaca essas relações.
- Uma melhoria no indicador **despesas operacionais**, mantendo-se constantes as taxas de venda e as despesas com estoque, possibilita a organização a praticar um maior lucro marginal. Isso também implica em melhor desempenho nos indicadores lucro líquido, ROI e fluxo de caixa. A Figura 3.23 ilustra um grafo que destaca tais relações.

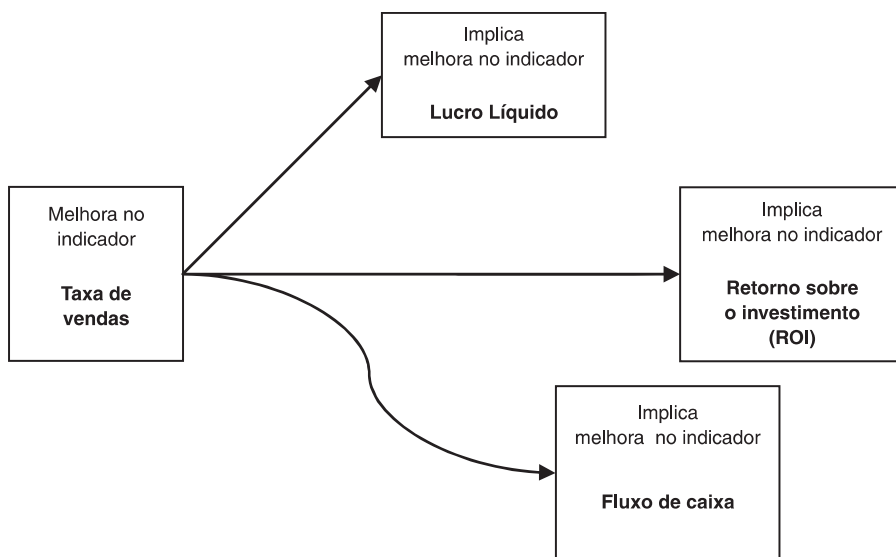


Figura 3.22. Relação entre a taxa de vendas e os indicadores financeiros.

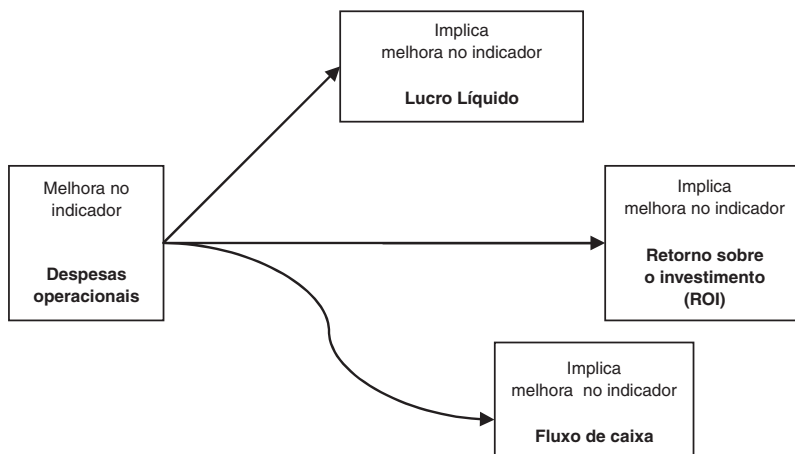
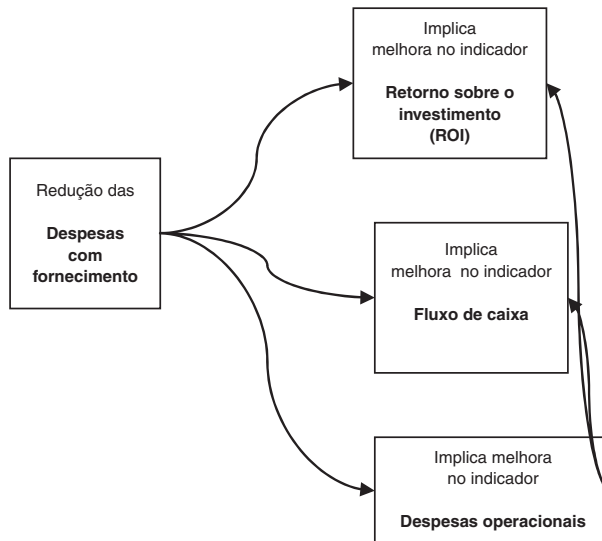


Figura 3.23. Relação entre a taxa de vendas e os indicadores financeiros.

- Uma melhoria no indicador **despesas com suprimento**, mantendo-se constantes as taxas de venda e as despesas com estoque, implica diretamente em melhorias nos indicadores ROI e fluxo de caixa. No entanto, não tem efeito direto sobre o lucro líquido. Em outras palavras: reduzir as despesas com suprimento induz diretamente ao aumento do ROI e do fluxo de caixa, mas não implica diretamente maior lucro líquido.<sup>11</sup>
- Por outro lado, uma redução de despesas com suprimento implica menores despesas operacionais, o que, indiretamente, aumenta o **lucro líquido**, o **ROI** e o **fluxo de caixa**.

A Figura 3.24 busca ilustrar a relação do indicador **despesas com suprimento** com os indicadores financeiros. Como se pode observar, esse indicador tem forte influência sobre o “ganho” pelas organizações, o que, em parte, explica o sucesso das técnicas e dos sistemas orientais de gestão (por exemplo: JIT) que buscam minimizar os inventários.



**Figura 3.24.** Relação entre as despesas com fornecimento e os indicadores financeiros.

### O processo de aprimoramento contínuo

Enquanto a OPT se preocupa com as restrições do processo produtivo, a TOC considera que restrição pode ser qualquer situação que limite o sistema na busca de sua meta. Por isso, a TOC propõe que primeiro se identifiquem as operações gargalo dentro da fábrica, para então administrar, medir, controlar esses recursos de forma bem diferente que os recursos não-gargalos. Para que as restrições sejam identificadas e tratadas adequadamente, de forma a garantir os objetivos da empresa, é proposta a adoção do processo de aprimoramento contínuo, porque infelizmente existe um número quase ilimitado de melhoramentos possíveis. Sabemos que não podemos fazer tudo imediatamente, então por onde começar? Quais melhoramentos específicos nos levarão para mais perto da nossa meta? Seria ainda melhor se tivéssemos um procedimento que pudesse ser usado rotineiramente para determinar quais melhoramentos são os mais importantes em qualquer época.

Uma vez alcançada nova capacidade de produção na restrição, deve-se adequar o resto da fábrica para que atue conforme essa nova capacidade. O objetivo é condicionar a atuação dos demais recursos aos novos níveis de atuação da restrição, ainda que essa medida possa provocar uma subutilização de alguns recursos. Como Goldratt explica em *A Meta*, “uma hora ganha em um recurso não-gargalo é uma

<sup>11</sup> Para Goldratt, este pode ter sido um dos motivos que levou a indústria americana a não investir tão fortemente quanto a indústria japonesa na redução de seus estoques.

miragem, uma hora perdida na restrição é uma hora perdida em todo o sistema de manufatura” (Goldratt, 1995). Uma alternativa para promover essa subordinação é oferecida pela TOC na forma da ferramenta que desenvolve um processo de subordinação e sincronização entre os diversos recursos constitutivos do sistema de produção. A idéia de subordinação reside no fato de que, havendo uma restrição no sistema de produção (e todo o sistema produtivo possui pelo menos uma), deve-se subordinar todos os demais recursos não-restrição ao recurso que é a restrição atual, no sentido de que todos produzam orientados pelo princípio citado anteriormente, segundo o qual a restrição não pode parar, em especial por desabastecimento. Assim, o sistema como um todo tem de atuar segundo essa exigência, basicamente nas etapas precedentes à restrição. No entanto, devido às variabilidades do processo produtivo, o risco de o gargalo parar por desabastecimento pode ser minimizado pela constituição de um estoque de segurança localizado à sua frente. Esse estoque é então denominado de pulmão, e tem como objetivo garantir que o gargalo não pare, ainda que a montante do processo tenham ocorrido problemas como paradas de máquinas, falta de materiais ou erros de programação.

Seguindo a lógica do tambor, esta procura estabelecer um ritmo de produção para os recursos não-restrição, principalmente aqueles localizados antes do gargalo, de forma que estes produzam segundo o ritmo da própria restrição. Isso porque qualquer tentativa de produzir mais rapidamente ou numa seqüência diferente só irá aumentar os estoques sem significar algum ganho substancial. Assim, a idéia do tambor é fazer com que todos (os recursos não-restrição) se desloquem apenas na velocidade do recurso com restrição, ou seja, o ritmo estabelecido para o gargalo será o ritmo em que todo o sistema deverá atuar, de forma que todas as etapas não-restrição produzam de acordo com as necessidades estabelecidas pelo recurso restrição.

Portanto, o sistema TOC consegue garantir que os recursos atuem sincronizadamente na busca de atendimento à demanda sem paradas do gargalo e sem geração de inventários desnecessários.

### **Elevar a capacidade do sistema como um todo**

Nesta etapa, o objetivo é obter mais capacidade da restrição. Na segunda etapa, o objetivo era acabar com os desperdícios de tempo que afetam a capacidade da restrição.

Agora é importante procurar por alternativas, como adquirir mais uma máquina para atuar junto com a restrição; ou parte do trabalho que rotineiramente passaria pela restrição pode ser enviado para fábricas externas; ou, ainda, adotar um turno extra de trabalho ou promover horas extras.

Se um gargalo foi removido, outra etapa do processo irá se tornar a nova restrição. Assim, a fim de continuar em busca da meta da empresa, o processo de aprimoramento contínuo deve voltar à primeira etapa e reiniciar o ciclo.

É possível que a nova restrição não seja necessariamente outra etapa do processo de produção, mas alguma etapa localizada fora da área da produção, como engenharia ou marketing. Será preciso cuidado com a exploração da nova restrição, porque a abordagem utilizada na restrição anterior pode não ter aplicabilidade na nova restrição. Deve-se evitar considerar a TOC como um conjunto de ferramentas para a produção e não como ferramentas mais generalizadas que podem ser aplicadas à engenharia, marketing ou outras funções não-manufatureiras.

Nessa situação, em que a nova restrição deixa de ser uma restrição de capacidade (gargalo) e passa a ser uma restrição externa ou uma restrição política, o processo de aprimoramento contínuo, se usado isoladamente, pode não atingir o objetivo central que é remover a nova restrição. Isso porque as alternativas possíveis, como reduzir paradas de máquinas (*setups*, manutenção, desabastecimento, erros de programação etc.) ou adotar o sistema TPC, não terão aplicação efetiva, sendo necessário, então, a adoção de outra ferramenta mais conveniente à análise das novas situações. Essa nova ferramenta é fornecida pela TOC com a denominação de Método Geral de Solução de Problemas, ou Processo de Raciocínio (*Thinking Process*).

A TOC propõe esse tratamento através de uma lógica que se concentra na idéia de que os eventos ocorrem dentro de uma empresa segundo uma relação de “efeito-causa-efeito”, em que um determinado problema (efeito) possui uma ou algumas causas, que, por sua vez, são efeitos de outras causas.

No Processo de Raciocínio, esses problemas ou efeitos são chamados de “efeitos indesejáveis”, que possuem causas as quais precisam ser localizadas e eliminadas. Para tanto, propõe-se que os envolvidos na aplicação do processo sejam capazes de responder às questões:

- O que mudar?
- Para o que mudar?
- Como mudar?

As respostas a essas perguntas passam pela aplicação de algumas ferramentas criadas especialmente para que o processo evolua de forma lógica.

Assim, para responder a pergunta “o que mudar?”, usa-se uma estrutura de raciocínio chamada *Árvore da Realidade Atual*, em que se procura demonstrar as possíveis relações de efeito-causa-efeito existentes e relacionadas com o problema ou restrição que se deseja solucionar. Uma vez identificadas essas relações e, conseqüentemente, as causas ou possíveis causas do problema, deve-se propor uma mudança, ou seja, a eliminação dessas causas. Nesse momento, é necessário procurar responder à questão “para o que mudar?”, ou seja, qual a nova situação desejada? Para apoiar na identificação dessa situação o Processo de Raciocínio propõe a construção da *Árvore da Realidade Futura*, uma construção mental que define objetivos e eliminação da restrição. Na fase seguinte, “como mudar?” aplica-se a *Árvore de Pré-requisitos*, que é a explicitação de todos os obstáculos possíveis e imagináveis à implantação da solução. A fim de eliminar ou anular esses entraves, elabora-se a *Árvore de Transição*, que é basicamente um planejamento de ações voltadas para a eliminação dos obstáculos ao alcance da solução planejada na *Árvore da Realidade Futura*.

Um aspecto que não pode ser esquecido é o âmbito principal da aplicação do Processo de Raciocínio, que são as restrições políticas. Ele representa um estágio mais avançado da TOC, porque a evolução da abordagem da TOC apontou a necessidade premente de promover mudanças nas práticas e políticas gerenciais; nesse sentido foi necessário o desenvolvimento de um método capaz de tratar de problemas associados às políticas adotadas por uma empresa.

#### 3.3.2.4 Conclusões sobre a TOC

A TOC não tenta eliminar todos os problemas existentes na organização. Ela se concentra na eliminação apenas dos problemas que se constituem, de fato, em restrição ao ganho da organização. Isso elimina desperdício de esforço. Nesse contexto, a TOC considera a necessidade de existência de estoques intermediários (pulmões) colocados anteriormente às restrições para garantir reduzir a possibilidade da mesma deixar de operar por falta de suprimento – o que acarretaria perda de ganho pela organização.

A TOC também traz uma visão diferente sobre o uso de indicadores de desempenho, focando nos indicadores que são **causas** do ganho, em vez de focar em indicadores que apenas indicam ou reportam o resultado ou ganho da organização.<sup>12</sup>

Vale ressaltar que a expressão máximo “ganho” poderia ser substituída por máximo ganho de valor.<sup>13</sup> Dessa forma a TOC se aplicaria também a instituições sem fins lucrativos em que a remuneração ocorre sob a forma de outros valores (diferentes de dinheiro).

<sup>12</sup> Vale registrar que, mesmo estabelecendo essa diferença, a TOC destaca as conexões entre esses dois grupos de indicadores.

<sup>13</sup> Utilizando a terminologia adotada em Pezez (2006), que afirma que o objetivo da organização é gerar valor para seus acionistas.



## PALAVRAS-CHAVE

Sistemas de produção  
*Just-in-time*  
Produção empurrada  
Produção puxada  
Sistema toyota

## 3.7 EXERCÍCIOS

1. Cite os principais tipos de classificações dos sistemas de produção, explicando que características das operações cada um deles visa classificar.
2. Por que é tão importante classificar os sistemas de operações quanto a diferentes aspectos?
3. Classifique os processos produtivos a seguir quanto ao grau de padronização, tipo de operação, ambiente de produção e natureza dos produtos. Elabore uma tabela com suas respostas.
  - a) Serviço de táxi
  - b) Consultório dentário
  - c) Consultoria de projetos
  - d) Fabricação de automóveis
  - e) Fabricação de cremes dentais
  - f) Obras de pavimentação de rodovias
  - g) Impressão de jornais e revistas
4. Quais as vantagens de uma estrutura multilateral em complemento à estrutura hierárquica convencional?
5. Para os produtos e serviços relacionados a seguir, caracterize os *inputs* (entradas), principais processos que constituem o produto/serviço e os *outputs* (saídas). Utilize como base a Tabela 1.5.
  - a) Fast-food
  - b) Polícia (segurança pública)
  - c) Companhia aérea
  - d) Correios
  - e) Automóvel
  - f) Computador
6. Comente sobre as principais interfaces entre as funções de produção, marketing e finanças.
7. Como vimos neste capítulo e no capítulo anterior, o planejamento da produção é hierárquico. Relacione os horizontes de tempo (curtíssimo, curto, médio e longo prazo) com a hierarquia de planejamento em PCP (operacional, tático e estratégico). Quais as principais atividades de PCP em cada um desses níveis?
8. Vamos considerar um posto de trabalho composto de um operador e uma fresadora, como sendo um sistema produtivo. Nesse exemplo, o operador tem liberdade na escolha das ferramentas, nos parâmetros de corte e na seleção do próximo lote entre o conjunto de lotes em espera. As variáveis de entrada incontroleáveis (I) são, por exemplo, a chegada de lotes à fila de espera e as eventuais avarias da máquina. Os objetivos (A) são os níveis de qualidade a atingir e o número de lotes a produzir. O operador é o gestor (MN). Os parâmetros reguladores (P) são o seqüenciamento dos lotes, a seleção das ferramentas e os parâmetros de corte. Os sensores (SN) são os aparelhos de medida, automáticos ou manuais, e os sentidos do operador usados na verificação dos ruídos da máquina e na verificação visual, quer do comportamento da máquina quer na inspeção visual do lote. As variáveis de saída (O) são a alteração das características das peças, a quantidade produzida, a qualidade conseguida, a taxa de utilização da máquina etc.

# Previsão de demanda

MARCO A. MESQUITA

## ■ OBJETIVOS DE APRENDIZADO

Este capítulo tem o propósito principal de organizar os conhecimentos relativos à previsão de demanda no contexto do processo mais geral de planejamento e controle da produção e estoques, tanto em ambientes de manufatura quanto nas organizações de serviços. Por se tratar de um dado de entrada básico do PCP, a competência das empresas em prever e gerenciar a demanda constitui fator crítico de sucesso na busca da excelência operacional. A partir de uma contextualização do problema de previsão de demanda, são apresentadas técnicas de previsão e monitoramento dos erros, bem como os requisitos para a efetiva implantação destas técnicas nas empresas.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Entende-se por demanda a disposição dos clientes ao consumo de bens e serviços ofertados por uma organização. Essa demanda é influenciada por uma série de fatores que se estendem desde as condições macroeconômicas até questões operacionais, como a disponibilidade do produto e preço no ponto-de-venda.

No processo de previsão de demanda para efeito de planejamento da produção e estoques, que será discutido adiante, normalmente utilizam-se dados das vendas passadas (histórico de vendas). Vale destacar que fatores como a falta de produto no ponto-de-venda ou condições especiais de promoção resultam em valores de vendas bastante diferentes da demanda normal, ou seja, nem sempre as **vendas** equivalem à **demand**a efetiva de um produto. Por isso, no processo de previsão de demanda é adequado rever os dados referentes aos períodos de vendas atípicas.

Analisando a demanda de produtos de consumo no varejo, verifica-se a influência sobre a demanda de fatores comerciais como preço, disponibilidade, oferta de crédito, publicidade, ações da concorrência etc. Essa multiplicidade de fatores combinados, cada qual com sua própria dinâmica, explica a incerteza da demanda e, como consequência, sua dificuldade de previsão.

A incerteza da demanda no mercado consumidor propaga-se a montante das cadeias de suprimentos. À medida que um distribuidor percebe mudanças nos pedidos dos varejistas (clientes), ele também modificará seus pedidos (demanda) junto aos fabricantes (fornecedores). Da mesma forma, cada fabricante tende a alterar suas encomendas (matérias-primas e componentes) junto aos seus fornecedores, conforme a variação observada de sua demanda, e assim sucessivamente a montante da cadeia.

As oscilações de demanda a montante das cadeias de suprimentos devem ser maiores que aquelas observadas no varejo, devido à política de compras em grandes lotes, visando economias de escala em transporte e produção, e à dificuldade em acompanhar a evolução das vendas ao consumidor final, limitando-se à análise das vendas aos seus clientes diretos. Esse fenômeno, conhecido como Efeito Chicote, torna a gestão de estoques na cadeia de suprimentos uma atividade bastante complexa.

Neste capítulo, apresentam-se métodos de previsão de demanda para o planejamento da produção e estoques. Inicialmente, são apresentados alguns conceitos relacionados aos padrões de de-

manda (Seção 4.2), uso da previsão de demanda no PCP (Seção 4.3) e o processo de previsão de demanda (Seção 4.4). A Seção 4.5 é dedicada aos indicadores de erros de previsão. As duas seções subsequentes são destinadas aos modelos de previsão qualitativos (4.6) e quantitativos (4.7). Na Seção 4.8, discute-se a implantação de sistemas de previsão de demanda nas empresas. Finalmente, a Seção 4.9 encerra o capítulo com uma síntese e os desdobramentos dos principais conceitos abordados.

## 4.2 PADRÕES DE DEMANDA

Inicialmente, diferenciam-se duas situações de demanda, denominadas **demanda pontual** e **demanda repetitiva**. No primeiro caso, tem-se um pico de demanda, que ocorre de forma concentrada no tempo e depois desaparece ou diminui significativamente. Como exemplo, podemos citar a demanda por vacinas durante uma campanha de vacinação ou a demanda por enfeites natalinos. Nesses casos, o gestor faz uma previsão de demanda e, com base nesta, decide quanto adquirir do produto para atendimento da demanda. Os erros de previsão de demanda implicarão na falta ou excesso de produto, e a dificuldade de previsão está associada à falta de histórico de demanda confiável.

Para itens com demanda repetitiva, a demanda pode ser classificada em **dependente** ou **independente**. A demanda é considerada **dependente** quando pode ser facilmente associada à demanda de outro produto. Na manufatura, por exemplo, classificam-se as matérias-primas e os componentes adquiridos de fornecedores como itens de demanda dependente, pois a demanda desses materiais está correlacionada com a demanda de produtos acabados. Por exemplo, a demanda de pneus na linha de montagem é dependente da demanda por automóveis expressa no programa mestre de produção. O conceito de demanda dependente fundamenta a técnica de Planejamento das Necessidades de Materiais (MRP – *Material Requirements Planning*) que será apresentada no Capítulo 7. Neste capítulo, serão abordados métodos de previsão para produtos com demanda independente, ou seja, de produtos finais.

Para melhor compreender os padrões de demanda **independente**, utiliza-se o conceito do “ciclo de vida de produto”, que representa a evolução típica das vendas de um produto ao longo do tempo. Esse ciclo inicia-se com a introdução do produto no mercado, em um patamar inferior de vendas, que tende a crescer com maior ou menor intensidade conforme a aceitação do produto e a concorrência no mercado. A fase de maturidade caracteriza-se pela estabilidade na demanda. A seguir, observa-se o declínio nas vendas, decorrente da perda de competitividade do produto. O ciclo encerra-se com a retirada do produto do mercado. Este ciclo está representado na Figura 4.1.

A partir do conceito de ciclo de vida do produto, tratado em maior profundidade nas áreas de marketing e desenvolvimento de produtos nas empresas, classifica-se a demanda independente em **estacionária** ou **com tendência**. No primeiro caso, que corresponde à fase de maturidade, observam-se algumas variações aleatórias nas vendas, porém um patamar de demanda constante ao longo do tempo. Por outro lado, a demanda com tendência exibe crescimento (ou redução) sistemático, típico da fase de crescimento (ou declínio) das vendas.

Um terceiro aspecto a se considerar é a existência de  **sazonalidade** (do termo em inglês *season*), que consiste em oscilações regulares da demanda ao longo do ano ou “ciclo sazonal”. Exemplos de produtos com demanda sazonal são alguns produtos alimentícios (cerveja, sorvete, chocolate etc.), de vestuário, brinquedos, eletrodomésticos, fertilizantes etc.

Dessa forma, destacam-se quatro padrões de demanda independente, representados nas figuras a seguir. As Figura 4.2 e 4.3 apresentam, respectivamente, um padrão de demanda

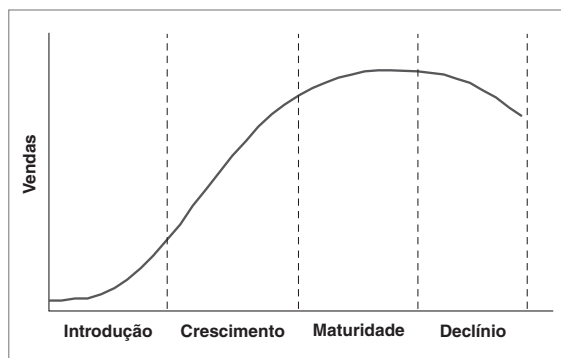


Figura 4.1. Ciclo de vida do produto.

estacionário e com tendência de crescimento. Na Figura 4.4, identifica-se um padrão de demanda estacionária sazonal, com aumento das vendas nos últimos meses do ano. Finalmente, a Figura 4.5 apresenta um padrão de demanda com tendência de crescimento e sazonalidade.

Identificar qual o padrão de demanda, se há tendência ou efeito sazonal, é um ponto importante do processo de previsão, em particular, para a escolha do modelo de previsão de demanda mais adequado.

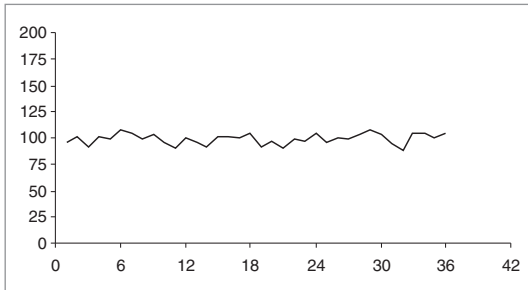


Figura 4.2. Demanda estacionária.

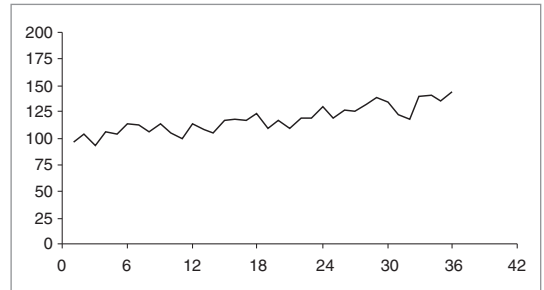


Figura 4.3. Demanda com tendência.

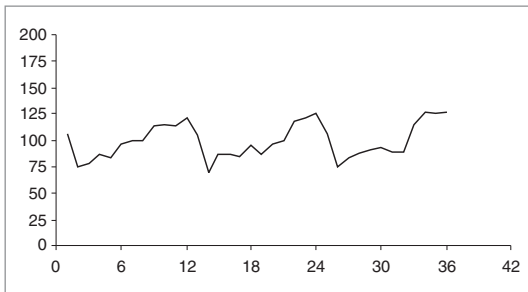


Figura 4.4. Demanda estacionária sazonal.

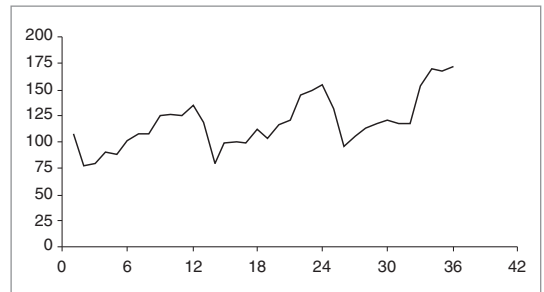


Figura 4.5. Demanda com tendência e sazonalidade.

### 4.3 PREVISÃO E PLANEJAMENTO

A previsão de demanda assume um papel central no processo de planejamento da empresa de manufatura. Com base nessa informação, são tomadas as principais decisões financeiras, comerciais e operacionais. Dessa forma, a capacidade de prever bem terá impacto direto no resultado econômico da empresa.

A necessidade de previsão de demanda não se restringe às empresas de manufatura. No varejo, as decisões de reposição de estoques devem considerar a previsão de demanda futura. No próximo capítulo, que trata de sistemas de estoque (entrada e saída de produtos sem transformação física), apresentam-se modelos de reposição de estoques que, de alguma forma, consideram previsões de demanda em sua operação.

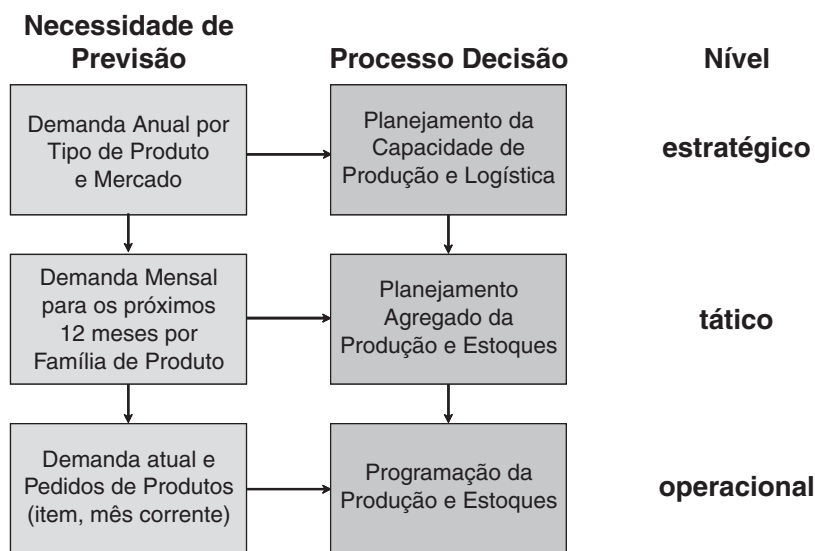
Em serviços, a previsão de demanda proporcionará um melhor planejamento dos recursos humanos, equipamentos e materiais para atendimento ao cliente. Erros de previsão e planejamento acarretarão ociosidade dos recursos ou longas filas de espera dos clientes, ou seja, ineficiências na prestação do serviço.

Embora, na maioria das empresas, a área comercial seja a mais envolvida no processo de previsão de demanda, devido à sua maior proximidade com os clientes, a responsabilidade deve ser compartilhada entre as várias áreas, incluindo as áreas financeira e de produção. Ainda que cada uma delas tenha visões diferentes quanto ao comportamento futuro do mercado, há a necessidade de conciliação das informações e decisões, para que todos caminhem na mesma direção.

É fato conhecido que as previsões de demanda sempre incluem uma margem de erro e que a incerteza das previsões é tanto maior quanto maior o horizonte de planejamento, ou seja, as previsões de venda dos próximos meses são mais confiáveis que aquelas um ano adiante. Além disso, previsões de demanda agregada apresentam menores erros que previsões detalhadas por item. Por exemplo, uma cadeia de lanchonetes terá maior facilidade em prever a demanda por tipo de lanche (carne bovina, frango etc.) em lugar de prevê-la por item do cardápio. Além de ganhar precisão, reduz-se também a quantidade de dados em análise.

Do ponto de vista do PCP, as previsões de demanda são utilizadas nas decisões referentes ao planejamento dos recursos de produção (planejamento da capacidade), às metas de produção e estoques (planejamento agregado da produção) e às prioridades de produção e expedição de produtos (programação e controle da produção), conforme apresentado na Figura 4.6.

Nesse quadro, apresenta-se um conceito importante referente ao nível de detalhe da informação de demanda e ao horizonte de previsão. Para efeito do planejamento da capacidade (nível estratégico), as informações de demanda apresentam-se de forma bastante agregada (por tipo de produto,



**Figura 4.6.** Previsão de demanda no planejamento da produção.

por exemplo) em um horizonte de longo prazo. No nível tático, determinam-se previsões por família de produto, em um horizonte mais curto, de médio prazo (um ano, por exemplo). Finalmente, no nível operacional, as informações são específicas por item e, nesse caso, misturam-se previsões de demanda no curto prazo com pedidos firmes.

Nos níveis tático e estratégico, utilizam-se dados agregados por famílias de produtos em lugar de dados detalhados item a item. Essa prática visa reduzir as incertezas das previsões de longo prazo e não prejudica a qualidade do processo de decisão, uma vez que não se necessita de informações detalhadas para o planejamento da capacidade e metas de produção e estoques. Ao contrário, no nível operacional, há a necessidade de previsões detalhadas por item, no curto prazo, para dar suporte às decisões de reposição de estoques e programação da produção. Portanto, dependendo do nível de planejamento, há diferentes necessidades de previsão de demanda, que serão atendidas por diferentes modelos de previsão. No Capítulo 6, que discute o processo de planejamento agregado da produção, ficará mais clara a motivação para previsão de demanda a partir de dados agregados.

Como o processo de planejamento é dinâmico, com necessidade de revisão periódica dos planos, o processo de previsão também será repetido, de forma cíclica, produzindo informações atualizadas, conforme a necessidade do planejamento. Nesse sentido, a formalização do processo de previsão de demanda nas empresas deve contribuir para a melhoria do processo de planejamento e controle da produção. A seguir, discute-se a dinâmica do processo de previsão de demanda no contexto do PCP.

#### 4.4 PROCESSO DE PREVISÃO

Um processo formal de previsão de demanda inicia-se com a definição clara do **objetivo** principal, que está associado à necessidade da previsão de demanda. Por exemplo, a finalidade pode ser a previsão de demanda para reposição de estoques ou a previsão de demanda para planejamento da capacidade de uma nova linha de produto. Dependendo do objetivo, determinam-se, entre outros aspectos, qual o nível de precisão, quem deve participar do processo, quais os prazos e recursos necessários etc.

A partir da definição dos objetivos e da abrangência do processo de previsão, o passo seguinte consiste na **coleta de dados**, que inclui dados históricos de vendas e informações sobre eventos, passados e futuros, que podem influenciar o comportamento das vendas. Uma análise preliminar desses dados pode indicar a necessidade de correção ou mesmo exclusão de alguns dados da série histórica. Evidentemente, a quantidade e o tipo das informações estão associados ao propósito da previsão, assim como a natureza do modelo de previsão empregado.

Atualmente, muitas empresas dispõem de tecnologia de informação para organização das informações de demanda em bancos de dados, facilitando o processo de coleta de dados. Uma opção frequente consiste na exportação de dados dos sistemas corporativos (ERP – *Enterprise Resources Planning*) para planilhas, o que facilita a manipulação dos dados pelos analistas. Ainda que boa parte dos ERPs disponha de módulos de previsão de demanda, as planilhas eletrônicas ainda constituem uma ótima alternativa para análise dos dados coletados.

Para implantar um processo de previsão de demanda, além da base de dados e dos recursos computacionais, a empresa necessita de **modelos** de previsão de demanda. De forma geral, esses modelos podem ser classificados em **qualitativos** e **quantitativos**. No primeiro grupo, estão as técnicas baseadas no consenso de opiniões. Por outro lado, os métodos quantitativos caracterizam-se pelo emprego de técnicas estatísticas para obtenção das previsões.

Uma vez definido o modelo, o passo seguinte consiste na realização de **testes** para sua calibração e avaliação da confiabilidade das previsões geradas. A calibração consiste, a partir da simulação com dados históricos, na determinação dos valores dos parâmetros do modelo em uso que produzem o menor erro de previsão. Esse ponto será retomado adiante, quando da apresentação de alguns dos modelos de previsão por projeção de séries temporais.

Finalmente, uma vez validado o modelo e disponibilizados os recursos e as informações necessários para o processo de previsão, este pode ser incorporado à rotina do planejamento e controle da produção. Essa etapa consiste na **implantação** efetiva do processo de previsão. Uma vez implantado, o processo deve ser monitorado e revisto periodicamente, com intuito de preservar a qualidade das informações produzidas. A Figura 4.7 ilustra este processo de previsão de demanda no âmbito do PCP.

A seguir, apresentam-se alguns indicadores de erros de previsão, que são utilizados inicialmente na calibração dos modelos e, posteriormente, para indicar a precisão das previsões. As seções seguintes apresentam alguns métodos de previsão qualitativos (Seção 4.6) e quantitativos (4.7) mais conhecidos. Esses tópicos são abordados em maior profundidade em livros específicos de previsão de demanda como, por exemplo, Makridakis *et al.* (1997), Armstrong (2001) e Hanke & Wichern (2005).

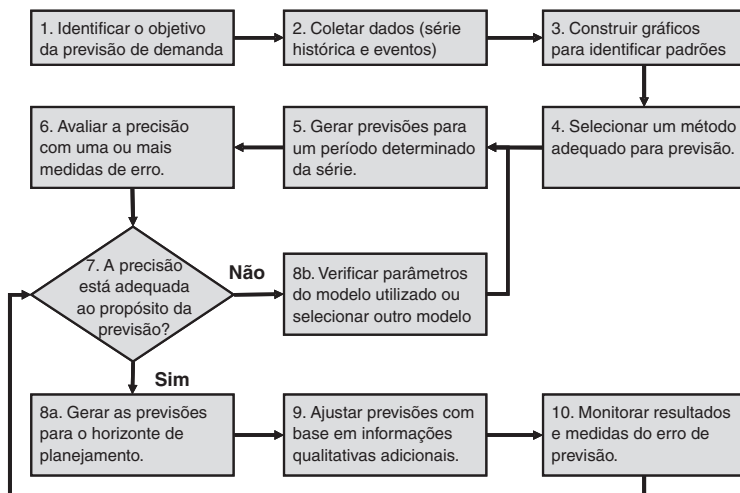


Figura 4.7. Processo de previsão de demanda (adaptado de Russell & Taylor, 2006).

### 4.5 ERROS DE PREVISÃO

O indicador básico de Erro de Previsão para o período  $t$  ( $E_t$ ) é a diferença (ou desvio) entre o Valor Real ( $D_t$ ) e o Valor Previsto da demanda ( $F_t$ , *forecast*) no período correspondente. Desvios positivos significam que a demanda superou a previsão, e negativos, o contrário.

$$E_t = D_t - F_t \tag{1}$$

A partir dos desvios de “n” períodos consecutivos, calcula-se o Erro Médio (EM) pela Equação (2).

$$EM = \frac{\sum_{t=1}^n (D_t - F_t)}{n} \tag{2}$$

O EM deve resultar em valores próximos de zero para n grande, quando o modelo não apresenta viés ou erro sistemático. Nesse caso, os desvios positivos ( $D_t > F_t$ ) anulam-se com os desvios negativos ( $D_t < F_t$ ).

Do ponto de vista prático, pode-se avaliar o viés de previsão graficamente, a partir de um diagrama de resíduos (erros), conforme apresentado na Figura 4.8. Nesse gráfico, deve-se observar se há predominância de desvios positivos ou negativos, o que indicaria a existência de um viés de previsão. Alguns softwares de previsão permitem também o cálculo dos resíduos padronizados, baseados na curva normal. Nesse caso, é possível avaliar a distribuição dos erros que, em situações normais, deve distribuir-se no intervalo de  $-3$  a  $+3$  desvios-padrão, que corresponde à probabilidade de 99,7% da curva normal.

Além de oferecer previsões sem viés, espera-se que a dispersão das previsões em torno dos valores efetivos seja também pequena. Dois indicadores utilizados para medir essa dispersão, derivados do EM, são o Erro Absoluto Médio (EAM) e o Erro Quadrático Médio (EQM).

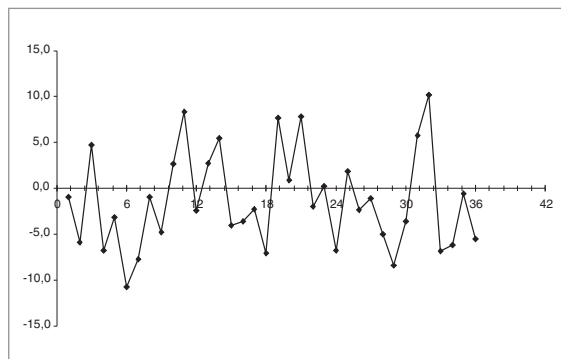


Figura 4.8. Erros de previsão.

No EAM, calcula-se a média dos desvios absolutos (sem sinal), enquanto no EQM, cada desvio é elevado ao quadrado, de forma similar ao conceito de variância da Estatística. As Equações (3) e (4) permitem calcular esses dois indicadores de erro.

$$EAM = \frac{\sum_{t=1}^n |D_t - F_t|}{n} \quad (3)$$

$$EQM = \frac{\sum_{t=1}^n (D_t - F_t)^2}{n} \quad (4)$$

No erro quadrático médio, os desvios maiores acabam tendo peso maior, ocorrendo o contrário com desvios pequenos. A desvantagem do erro quadrático é que este não é expresso na mesma unidade dos dados originais de demanda. Pode-se trabalhar, entretanto, com a raiz quadrada do EQM, embora isso não seja usual.

Uma alternativa ao EAM bastante utilizada é o EPAM (Erro Percentual Absoluto Médio), que considera desvios relativos ou percentuais no cálculo do erro, conforme a Equação (5).

$$EPAM = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{D_t - F_t}{D_t} \right|}{n} \quad (5)$$

Admitindo-se que os desvios tenham distribuição normal e que a previsão seja não-tendenciosa, pode-se afirmar que o erro de uma nova previsão seria:

- ±1 EAM em relação à média, com 60% de probabilidade;
- ±2 EAM em relação à média, com 90% de probabilidade;
- ±3 EAM em relação à média, com 98% de probabilidade.

EXEMPLO 4.1. Calcule os erros de previsão a partir dos dados apresentados na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1.** Erros de previsão

MÊS (1)	VENDA (2)	PREVISÃO (3)	ERRO (4)=(2)-(3)	ERRO ABSOLUTO (5)=  (4)	ERRO % ABSOLUTO (6)=(5)/(2)	ERRO <sup>2</sup> (7)=(4) <sup>2</sup>
1	120	110	10	10	8,3	100
2	150	135	15	15	10,0	225
3	130	150	-20	20	15,4	400
4	135	140	-5	5	3,7	25
5	150	150	0	0	0,0	0
Média	-	-	0	10	7,5	150

A partir desses totais, obtém-se: EM=0, EAM=10, EPAM=7,5% e EQM=150.

A Figura 4.9 apresenta um exemplo de previsão de demanda obtida com uso do software Minitab® ([www.minitab.com](http://www.minitab.com)). Do lado direito da figura, encontram-se os erros de previsão (MAPE – *mean absolute percentage error*; MAD – *mean absolute deviation*; e MSD – *mean square deviation*).



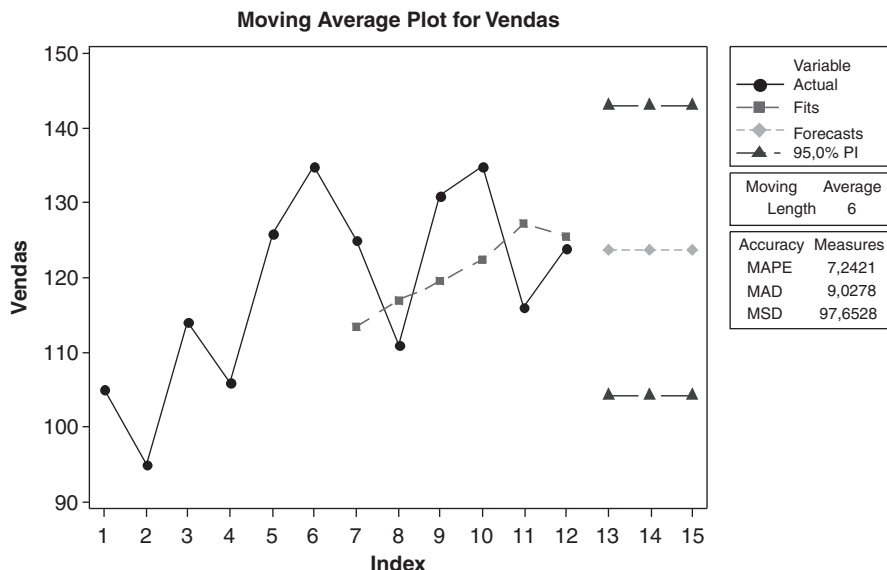


Figura 4.9. Saída do software Minitab® para previsão por média móvel.

### 4.6 MÉTODOS DE PREVISÃO

Os métodos de previsão de demanda são usualmente classificados em dois grupos. No primeiro, estão os métodos baseados em opiniões e julgamentos pessoais, denominados métodos qualitativos ou consenso de opiniões. No segundo grupo, encontram-se os métodos que produzem previsões com base em dados quantitativos e técnicas estatísticas. A Figura 4.10 apresenta alguns desses métodos de previsão de demanda.

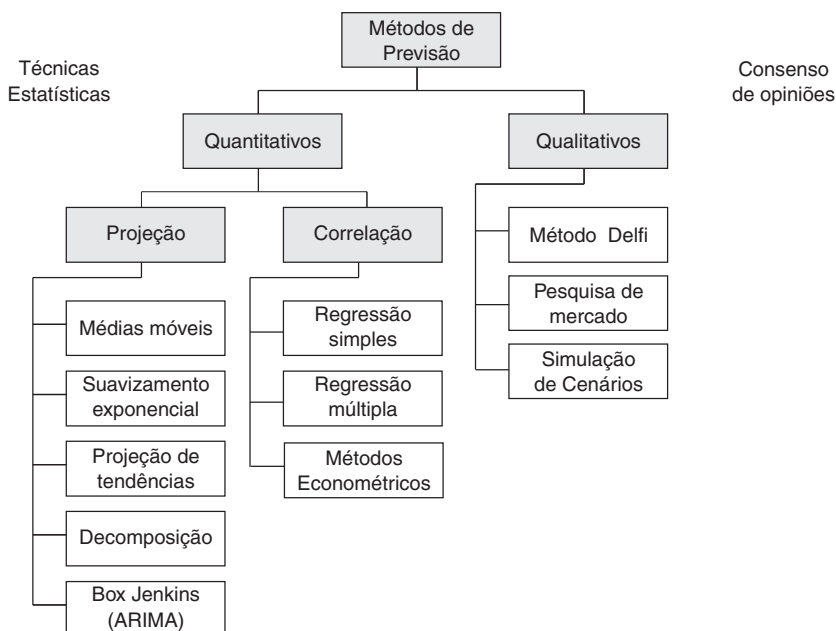


Figura 4.10. Alguns métodos de previsão de demanda.

Os métodos qualitativos apresentam um maior grau de subjetividade e, por isso, parecem menos adequados que os quantitativos. No entanto, quando não há disponibilidade de dados, tornam-se a única alternativa. Por exemplo, quando se trata do lançamento de um novo produto ou uma previsão sobre tendências de longo prazo de um setor econômico ou tecnologia, os métodos estatísticos são de pouca utilidade.

Por outro lado, há situações em que se dispõe de informações quantitativas, e as empresas, talvez por desconhecimento ou desinteresse, não recorrem aos métodos estatísticos, o que enriqueceria o processo de previsão, mesmo que este tenha um viés qualitativo. Na Figura 4.10, apresentam-se alguns métodos qualitativos, que serão brevemente descritos a seguir.

A **Pesquisa de Mercado** é um recurso que serve a diferentes finalidades na gestão empresarial. Pode-se recorrer à pesquisa de mercado para avaliar o potencial de consumo (demanda), nível de satisfação dos consumidores, participação no mercado (*market share*) e força da marca, teste de novos produtos (*design* e desempenho), avaliação de preço e concorrência etc.

Na pesquisa de mercado, busca-se avaliar a demanda potencial de um produto ou serviço diretamente com os consumidores finais, através de diferentes métodos de pesquisa. Dessa forma, a fonte de informação são agentes externos à empresa. Essa é uma área bastante amadurecida, havendo empresas no mercado especializadas nesse tipo de estudo que podem contribuir para a gestão da demanda nas empresas.

Na **Simulação de Cenários**, busca-se construir, a partir da opinião de especialistas, diferentes cenários futuros e, para cada um deles, estimar o comportamento das vendas. O resultado final pode ser apresentado em três cenários alternativos, classificados como otimista, mais provável e pessimista. A partir da avaliação subjetiva das probabilidades de cada cenário, decorre o processo de decisão. Essa técnica pode fornecer subsídios para o planejamento da capacidade e decisões de investimento no médio e longo prazo.

Do ponto de vista do planejamento da produção (nível tático-operacional), merecem destaque os métodos de consenso, envolvendo colaboradores da empresa ou de empresas parceiras na cadeia de suprimentos, que buscam quantificar o volume de demanda para efeito do planejamento da produção e reposição dos estoques. Frequentemente, essa previsão qualitativa confunde-se com o processo subsequente de tomada de decisão, isto é, as decisões de planejamento da produção.

Em um processo de previsão baseado em consenso, inicialmente deve-se escolher os participantes e o mediador (líder) do processo. Tipicamente, a alta gerência é formada por profissionais que acompanham atentamente a evolução do mercado e, por isso, são candidatos naturais à participação nesse processo. Entre estes, um grupo importante é a equipe de vendas, que mantém contato direto com os clientes da empresa. Engenheiros e gerentes de produção também podem contribuir, pela visão do panorama tecnológico e da concorrência. Enfim, deve-se identificar, interna e externamente à empresa, quais os atores que podem contribuir para o processo de previsão.

Um desafio na adoção de métodos de previsão por consenso está na formalização do processo. Uma alternativa para isso é o conhecido **Método Delfi**, desenvolvido originalmente pela empresa norte-americana Rand Co., durante a Segunda Guerra Mundial, com o objetivo de prever avanços tecnológicos na área militar. A denominação do método é uma referência ao oráculo de Delfos, na Grécia antiga, aonde as pessoas se dirigiam para obter ensinamentos e previsões do futuro. Atualmente, o método é empregado nas organizações para previsão de demanda e, de forma mais geral, para solução de problemas técnicos.

Basicamente, o processo consiste em duas etapas. Na primeira, os participantes são estimulados a emitir sua opinião individual acerca do problema formulado, tendo suas opiniões coletadas e analisadas pelo mediador. A etapa seguinte consiste na busca de um consenso das opiniões em reunião envolvendo todos os participantes.

A existência da primeira etapa cumpre a finalidade de permitir que cada participante possa expressar suas opiniões e conhecimento sem influência dos demais, evitando que relações de hierar-

quia e aspectos ligados à personalidade inibam a participação dos envolvidos. Se bem conduzida, a primeira etapa contribui para a eficiência da reunião de consenso, proporcionando melhores decisões em menos tempo.

De forma geral, o método pode ser estruturado nos seguintes passos:

1. Escolher os participantes.
2. Enviar questionários aos participantes para obter as previsões e os argumentos de cada um.
3. Analisar os resultados e redistribuir os questionários com novas questões pertinentes.
4. Repetir os Passos 2 e 3, enquanto necessário.
5. Consolidar os resultados obtidos (relatório).
6. Discussão dos resultados obtidos em reunião com os participantes (conclusões).

Os passos 1 a 4 caracterizam a primeira etapa (fase do oráculo), enquanto 5 e 6 correspondem à segunda (fase do consenso).

Na seção seguinte, apresentam-se alguns modelos de previsão quantitativos. É importante destacar que, em vez de serem considerados excludentes, os métodos qualitativos e quantitativos podem ser utilizados de forma complementar. Por exemplo, no método Delfi apresentado, projeções estatísticas podem ser fornecidas aos participantes como subsídio para as discussões. Por outro lado, há situações em que os resultados de uma previsão estatística devem ser interpretados e eventualmente corrigidos com base em informações subjetivas, que não podem ser incorporadas nos modelos quantitativos.

#### 4.7 MODELOS QUANTITATIVOS

Conforme mencionado anteriormente, há uma grande variedade de métodos estatísticos de previsão de demanda, com diferentes características e níveis de complexidade. Neste capítulo serão apresentados dois tipos principais de modelos estatísticos de previsão: **Projeção de Séries Temporais** (Seção 4.7.1) e **Correlação e Regressão** (Seção 4.7.2). Ao leitor interessado em aprofundar o estudo desses e outros métodos, recomenda-se a consulta de textos específicos de previsão de demanda, como, por exemplo, Makridakis *et al.* (1997) e Hanke & Wichern (2005).

Nos modelos de séries temporais, considera-se que a variável demanda é função apenas da variável tempo. Pressupõe-se que o padrão de demanda observado no passado deve repetir-se no futuro e, com base nessa premissa, são feitas as novas previsões. Nesse tipo modelo, os dados de entrada consistem basicamente na série histórica de vendas, com eventuais correções para retirada de pontos extremos.

Por outro lado, nos modelos de correlação e regressão, a variável demanda pode estar correlacionada com outras variáveis independentes. Conhecendo-se os valores (ou pelo menos estimativas) dessas variáveis independentes, seria possível prever o valor da variável dependente demanda, com certo grau de confiança. Os modelos de regressão são classificados em regressão simples e múltipla, dependendo do número de variáveis independentes consideradas.

Qualquer que seja o modelo quantitativo de previsão que se pretenda utilizar, além dos dados de entrada, há sempre um conjunto de parâmetros do modelo, cujos valores devem ser determinados a priori. Por exemplo, na utilização de uma projeção linear, determinam-se os coeficientes da reta (linear e angular) e a dispersão (variância residual) em torno da reta. Nos modelos de suavização exponencial, os valores iniciais e as constantes de suavização constituem os parâmetros do modelo a serem estimados.

Esses parâmetros podem ser definidos, com base na série histórica, por meio de simulações, buscando os valores dos parâmetros que proporcionem a melhor aderência, isto é, menores erros de previsão na simulação. Esse processo de calibração do modelo pode ser feito por tentativa e erro ou, então, aplicando algum método heurístico de busca.

**4.7.1 Modelos de projeção**

Nesta seção, apresentam-se alguns modelos de projeção por séries temporais mais importantes, incluindo uma discussão do processo de calibração do modelo a partir da simulação do processo de previsão com base em uma série histórica de vendas.

**4.7.1.1 Média móvel**

O método de projeção mais simples que vem à mente seria a repetição do último valor da série histórica, isto é, prever que a demanda no próximo período seria igual ao valor do período imediatamente anterior. Esse procedimento, embora bastante simples, tende a produzir estimativas muito variáveis, pois incorpora na previsão toda a variação da demanda.

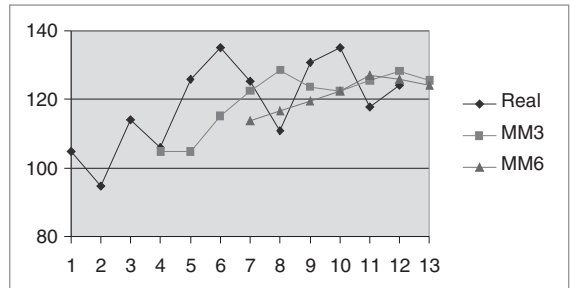
Uma alternativa seria considerar a média aritmética de “n” períodos anteriores, buscando, dessa forma, suavizar os resultados da previsão. Esse procedimento de cálculo é denominado “média móvel”, pois, à medida que um novo valor é incorporado à série, o valor mais antigo é descartado. Matematicamente, a previsão de demanda feita no instante “t” para “k” períodos adiante é determinada pela Equação (6).

$$F_t(t + k) = \frac{D_t + D_{t-1} + \dots + D_{t-n+1}}{n} \quad k = 1, 2, \dots \quad (6)$$

onde  $D_j$  representa a demanda real no período  $j$  e  $n$ , a quantidade de períodos considerada.

**Exemplo 4.2.** Os dados da tabela a seguir representam as vendas mensais de um produto no varejo. Determine as previsões de demandas pela média móvel (MM), considerando três e seis períodos no cálculo da média. Qual dos valores de “n” produz o melhor resultado?

Nas duas colunas à direita da Tabela 4.2 estão as previsões de demanda com  $n=3$  e 6. Esses resultados são apresentados graficamente na Figura 4.11.



**Figura 4.11.** Projeção por média móvel com  $n=3$  e 6.

**Tabela 4.2.** Previsão de demanda por média móvel

MÊS	VENDA	MM(3)	MM(6)
1	105		
2	95		
3	114		
4	106	104,7	
5	126	105,0	
6	135	115,3	
7	125	122,3	113,5
8	111	128,7	116,8
9	131	123,7	119,5
10	135	122,3	122,3
11	118	125,7	127,2
12	124	128,0	125,8
13		125,7	124,0

Apesar da pequena amostra, verifica-se que a projeção com seis períodos produz uma curva mais suave que a obtida com apenas três, refletindo melhor o valor médio da demanda.

Apesar da simplicidade do método, a média móvel não produz bons resultados quando a série histórica apresenta tendência ou sazonalidade. Uma alternativa melhor são os métodos de suavização, apresentados a seguir.

#### 4.7.1.2 Suavização exponencial

No método da média móvel, todas as parcelas do cálculo da previsão têm o mesmo peso. Poderíamos considerar uma média ponderada, em que os valores mais recentes da série tivessem maior peso. Isso acontece no método da suavização exponencial, em que os valores passados têm pesos decrescendo geometricamente.

Nesta seção, apresentam-se três variantes do modelo de suavização exponencial: **simples, com tendência** (modelo de Holt) e, finalmente, **com tendência e sazonalidade** (modelo de Holt-Winters).

##### *Suavização exponencial simples*

Na suavização exponencial simples, pressupõe-se que a demanda oscila em torno de um patamar ou demanda base constante. Partindo de um valor inicial, a “base” é corrigida a cada período, conforme novos dados de demanda são incorporados à série histórica.

A Equação (7) mostra a correção da base, que consiste em adicionar uma fração  $\alpha$  da diferença entre a demanda real e a estimativa anterior da demanda base. Se a demanda real for maior que a base anterior, há uma correção positiva, e vice-versa.

$$B_t = B_{t-1} + \alpha \cdot (D_t - B_{t-1}) \quad (7)$$

A constante  $\alpha$ , denominada **constante de suavização** da base, determina se a curva de projeção será mais ou menos suave. Valores próximos de zero implicam em menores correções da base, que irão resultar numa curva de projeção mais suave. Ao contrário, valores próximos de um produzem maiores correções, resultando em uma série projetada mais irregular.

Dois casos extremos ocorrem quando  $\alpha$  é fixado em um ou zero. Na primeira situação ( $\alpha = 1$ ), a nova base será exatamente igual ao último valor da demanda (as previsões repetem sempre o último valor da série). Na segunda situação ( $\alpha = 0$ ), a base permaneceria sempre igual ao valor inicial, sem correções.

A Equação (7) pode ser reescrita, dando origem à Equação (8), que é a forma usual de apresentação do cálculo da base. A previsão de demanda, nesse modelo, será simplesmente a última estimativa da base, para qualquer instante futuro, conforme a Equação (9).

$$B_t = \alpha \cdot D_t + (1 - \alpha) \cdot B_{t-1} \quad (8)$$

$$F_t(t + k) = B_t \quad k = 1, 2, \dots \quad (9)$$

onde:

$B_t$  – base ao final do instante  $t$ ,

$D_t$  – demanda do período  $t$ ,

$\alpha$  – constante de suavização,

$F_t(u)$  – previsão ao final do período  $t$  para o período  $u$  ( $u > t$ ).

A partir da Equação (8), é possível demonstrar que, na estimativa da base em um instante futuro  $t$ , todas as demandas anteriores entram no cálculo, com pesos decrescendo geometricamente, conforme a Equação (10).

$$B_t = \alpha \cdot D_t + \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot D_{t-1} + \alpha \cdot (1 - \alpha)^2 \cdot D_{t-2} + \dots + \alpha \cdot (1 - \alpha)^{t-1} \cdot D_1 + (1 - \alpha)^t \cdot B_0 \quad (10)$$

A seguir, discute-se a aplicação do modelo de suavização exponencial simples considerando a mesma série temporal do Exemplo 4.2.

**Exemplo 4.3.** A partir dos dados do exemplo anterior, determine as previsões de demanda pelo método da suavização exponencial simples, utilizando uma constante de suavização igual a 0,2.

Partindo de uma base inicial  $B_0=100$ , determina-se:

$$B_1 = 0,2 \cdot 105 + (1 - 0,2) \cdot 100 = 101 \quad (11)$$

Então, a previsão para um mês adiante seria:

$$F_1(2) = 101 \quad (12)$$

Para o período 2, ter-se-ia:

$$B_2 = 0,2 \cdot 95 + (1 - 0,2) \cdot 101 = 99,8 \quad (13)$$

e a previsão correspondente para o mês seguinte seria:

$$F_2(3) = 99,8 \quad (14)$$

Repetindo os cálculos para valores de  $t=3, 4, \dots, 12$ , obtêm-se os valores da base e previsões apresentados em *itálico* na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3.** Previsão de demanda por suavização exponencial simples

MÊS	VENDA	BASE	PREVISÃO
		100,0	
1	105	<i>101,0</i>	100
2	95	<i>99,8</i>	<i>101,0</i>
3	114	<i>102,6</i>	99,8
4	106	<i>103,3</i>	<i>102,6</i>
5	126	<i>107,8</i>	<i>103,3</i>
6	135	<i>113,3</i>	<i>107,8</i>
7	125	<i>115,6</i>	<i>113,3</i>
8	111	<i>114,7</i>	<i>115,6</i>
9	131	<i>118,0</i>	<i>114,7</i>
10	135	<i>121,4</i>	<i>118,0</i>
11	118	<i>120,7</i>	<i>121,4</i>
12	124	<i>121,4</i>	<i>120,7</i>
13			<i>121,4</i>

Esses resultados são apresentados graficamente na Figura 4.12, na qual se observa que as estimativas da base ficaram sistematicamente abaixo da série real, com erro percentual médio de 8,8%.

No exemplo anterior, verifica-se uma grande incerteza no resultado da previsão. Nesse caso, conforme discutido na Seção 4.4, há duas possibilidades: rever os parâmetros do modelo (no caso, a constante de suavização  $\alpha$ ) ou então substituí-lo por outro (um modelo de suavização com tendência, por exemplo).

A calibração do modelo manualmente seria muito trabalhosa. Seria necessário, para cada valor de  $\alpha$  testado, calcular as previsões e os erros médios para, posteriormente, identificar o valor de  $\alpha$  que produz os menores erros médios. Uma forma mais prática de executar essa tarefa é com o auxí-

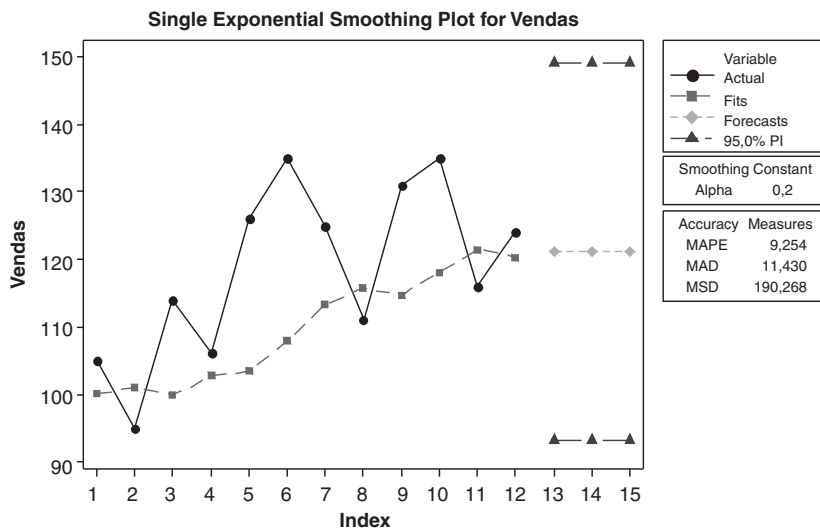


Figura 4.12. Saída do software Minitab® para previsão por suavização exponencial simples ( $\alpha=0,2$ ).

lio de uma planilha. Outra possibilidade é o uso de softwares específicos de previsão, que geralmente dispõem de procedimentos automáticos de calibração, como o software Minitab®.

Na Figura 4.13, apresenta-se um modelo de planilha Microsoft Excel® para previsão de demanda. Nela, os dados de entrada são a série histórica (intervalo B11:B46) e a constante de suavização (célula C3). As células C11 e D11 contêm as fórmulas da suavização exponencial simples (Equações 8 e 9). Nas duas células adjacentes à direita, calculam-se o erro e o erro percentual, conforme indicado na planilha. Finalmente, determinam-se o erro médio e percentual médio, apresentados nas células E11 e F11.

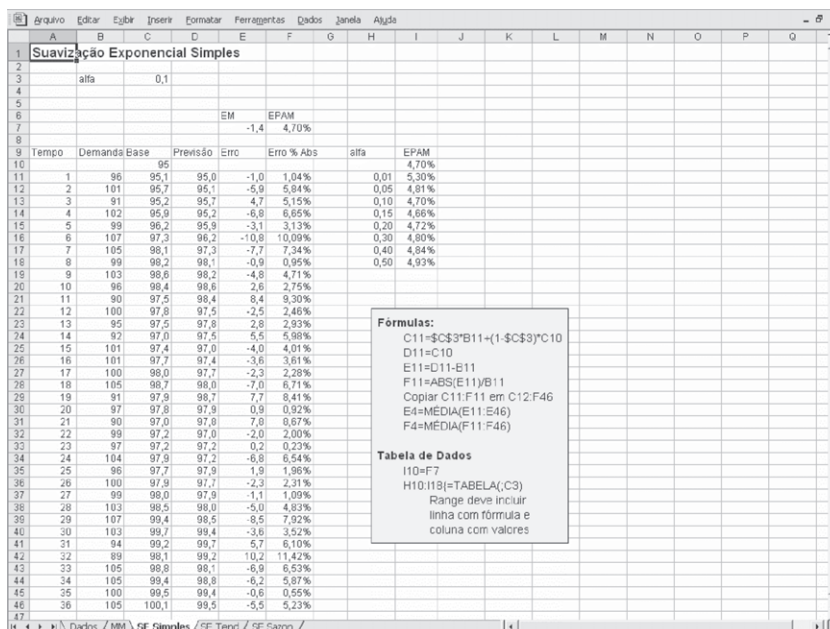


Figura 4.13. Planilha para previsão de demanda por suavização exponencial simples.

Na planilha, alterando-se o valor de  $\alpha$  (célula C3), recalculam-se automaticamente os erros. Utilizando o recurso “Tabela de Dados” do Microsoft Excel, constrói-se a tabela apresentada no intervalo H10:I18. Na célula I10, insere-se uma referência ao valor do EPAM e, no intervalo H11:H18, os valores de  $\alpha$  que se deseja testar. Dessa forma, o software calcula os valores do EPAM para cada  $\alpha$ , dispondo-os na forma de uma tabela (I11:I18). No exemplo, o menor EPAM é obtido com  $\alpha$  igual a 0,15.

A seguir, considera-se uma primeira variação do modelo de suavização simples, que incorpora uma tendência de crescimento linear da demanda a cada período.

#### *Suavização exponencial com tendência (modelo de Holt)*

Na suavização exponencial com tendência, adiciona-se uma segunda variável, que reflete o crescimento da demanda de um período para o outro. Essa variável, da mesma forma que a base, também será atualizada exponencialmente e aplicada no cálculo da previsão conforme a formulação a seguir.

$$B_t = \alpha \cdot D_t + (1 - \alpha) \cdot (B_{t-1} + T_{t-1}) \quad (15)$$

$$T_t = \beta(B_t - B_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot T_{t-1} \quad (16)$$

$$F_t(t + k) = B_t + kT_t \quad k = 1, 2, \dots \quad (17)$$

onde:

$D_t$  – demanda do período  $t$ ,

$B_t$  – base ao final do instante  $t$ ,

$T_t$  – tendência ao final do instante  $t$ ,

$\alpha$  – constante de suavização para Base,

$\beta$  – constante de suavização para Tendência,

$F_t(u)$  – previsão ao final do período  $t$  para o período  $u$  ( $u > t$ ).

A Equação (15) calcula uma média ponderada entre a demanda real e a nova base, que passa a incorporar uma parcela de crescimento (ou redução) da demanda expressa na variável tendência. Na Equação (16), tem-se a suavização da tendência, calculada com base na variação da base nos dois últimos períodos e a estimativa anterior. Finalmente, a Equação (17) fornece a previsão de demanda para “ $k$ ” períodos adiante, conforme uma progressão linear.

**Exemplo 4.4.** Utilizando os dados do exemplo anterior, determine as previsões de demanda pelo método da suavização exponencial com tendência, utilizando constantes de suavização igual a 0,1 para a base e 0,2 para a tendência.

**Tabela 4.4.** Previsão de demanda por suavização exponencial com tendência

MÊS	VENDA	BASE	TENDÊNCIA	PREVISÃO
		100	2,0	
1	105	102,3	2,1	102,0
2	95	103,4	1,9	104,4
3	114	106,2	2,0	105,3
4	106	108,0	2,0	108,2
5	126	111,6	2,3	110,0
6	135	116,0	2,7	113,9
7	125	119,4	2,9	118,8
8	111	121,1	2,6	122,3
9	131	124,5	2,8	123,8
10	135	128,1	2,9	127,3
11	118	129,7	2,7	131,0
12	124	131,5	2,5	132,4
13				134,1



Partindo dos valores iniciais  $B_0=100$  e  $T_0=2$ , determinam-se:

$$B_1 = 0,1 \cdot 105 + 0,9 \cdot 102 = 102,30 \quad (18)$$

$$T_1 = 0,2 \cdot 2,3 + 0,8 \cdot 2 = 2,1 \quad (19)$$

A previsão para o mês 2 seria:

$$F_1(2) = 102,3 + 2,1 = 104,4 \quad (20)$$

Repetindo os cálculos para valores de  $t=2, 3, \dots, 12$ , obtêm-se os valores da base, tendência e previsões correspondentes, apresentados em itálico na Tabela 4.4. A Figura 4.14 apresenta os resultados da previsão com tendência, calculados com o uso do software Minitab®.

Novamente, os resultados podem ser melhorados pela escolha conveniente dos parâmetros, isto é, das constantes  $\alpha$  e  $\beta$  e valores iniciais da base e tendência.

Embora os valores iniciais de base e tendência tenham efeito no resultado da previsão, esse efeito concentra-se nas previsões iniciais. Utilizando uma série longa e valores iniciais adequados, o resultado final não será muito afetado por essa escolha. Em contrapartida, os valores de  $\alpha$  e  $\beta$  são mais influentes, por essa razão, a calibração do modelo concentra-se nesses dois parâmetros (as constantes de suavização).

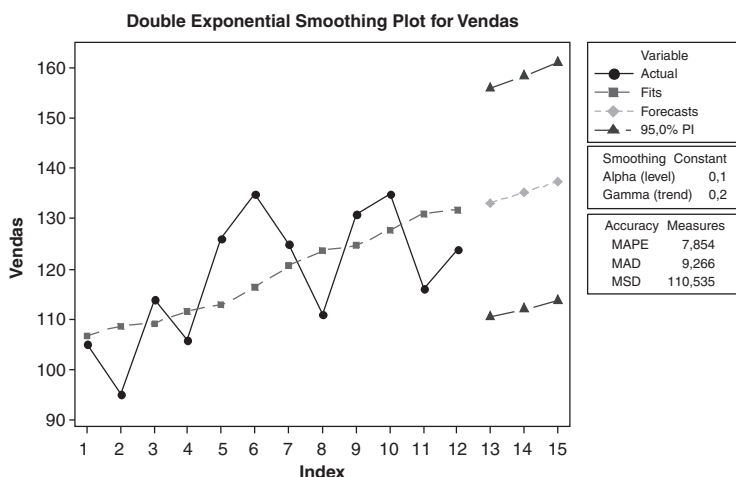


Figura 4.14. Saida do software Minitab® para previsão por suavização exponencial com tendência ( $\alpha=0,1$  e  $\beta=0,2$ ).

Novamente, com auxílio de uma planilha, é possível analisar algumas combinações de valores de  $\alpha$  e  $\beta$  e escolher o par que minimiza o EPAM. Na Figura 4.15, apresenta-se um modelo de planilha para previsão por suavização exponencial com tendência. A planilha é análoga à anterior, apresentada na Figura 4.13, incluindo-se uma coluna para suavização da tendência. O recurso “Tabela de Dados” do Microsoft Excel é utilizado novamente, considerando-se agora duas entradas na tabela, isto é, as duas constantes de suavização que se deseja determinar. Dentre os valores simulados, o menor EPAM obtido foi de 4,7%.

#### Suavização exponencial com tendência e sazonalidade (modelo de Holt-Winters)

Finalizando esta seção, apresenta-se o modelo de Holt-Winters, que incorpora, além da tendência, uma componente de sazonalidade. Isso é feito definindo-se um índice de sazonalidade para cada período, que representa a proporção entre a demanda média do período e a demanda média anual.

Por exemplo, se um mês apresenta índice de sazonalidade 1,2, isso significa que esse mês apresenta uma demanda média 20% acima da média anual. Por outro lado, um mês com índice 0,95 apresenta demanda média 5% abaixo da média anual.

O princípio básico do modelo de Holt-Winters consiste em projetar a demanda base, extraindo o efeito da sazonalidade, representada pelo índice de sazonalidade ( $I_t$ ). A Equação (21) mostra o cálculo da base ao final do período t. Comparando com a Equação (15), a diferença está na primeira parcela, que considera a demanda dividida pelo índice de sazonalidade, buscando, dessa forma, retirar o efeito sazonal. A Equação (22) permite o cálculo da tendência, que permanece igual ao caso anterior.

Na Equação (23), tem-se a atualização do índice de sazonalidade. Detalhando essa expressão, o novo índice de sazonalidade do período t será uma média ponderada entre o real observado (primeira parcela) e o índice anterior (segunda parcela). Nessa formulação, a constante L representa a extensão do ciclo sazonal, por exemplo, trabalhando-se com unidade de tempo mês e ciclo sazonal anual, ter-se-ia  $L=12$ . Com a introdução da variável “índice de sazonalidade”, introduz-se também uma terceira constante de suavização, representada por  $\gamma$ .

Finalmente, para obter uma previsão de demanda para um instante futuro t qualquer, multiplica-se a projeção da demanda base pelo índice de sazonalidade correspondente, conforme apresentado na Equação (24).

O modelo completo fica então representado pelas Equações (21) a (24).

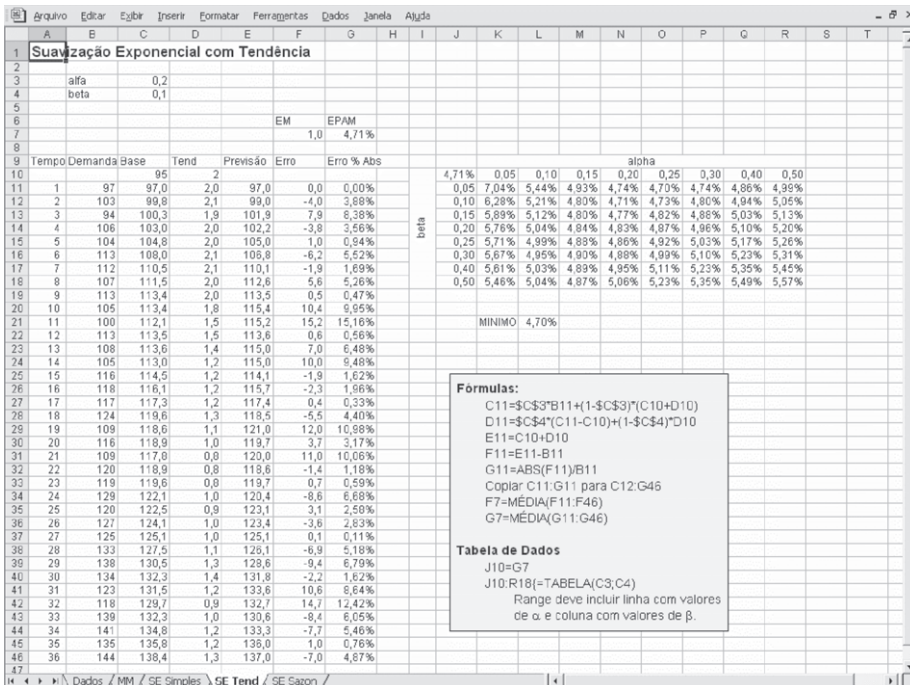


Figura 4.15. Planilha para previsão de demanda por suavização exponencial com tendência.

$$B_t = \alpha \cdot \left( \frac{D_t}{I_{t-L}} \right) + (1 - \alpha) \cdot (B_{t-1} + T_{t-1}) \tag{21}$$

$$T_t = \beta(B_t - B_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot T_{t-1} \tag{22}$$

$$I_t = \gamma \cdot \left( \frac{D_t}{B_t} \right) + (1 - \gamma) \cdot I_{t-1} \tag{23}$$

$$F_t(t+k) = (B_t + kT_t) \cdot I_{t-L+k} \quad k = 1, 2, \dots \quad (24)$$

onde:

$D_t$  – demanda do período  $t$

$B_t$  – base ao final do instante  $t$

$T_t$  – tendência ao final do instante  $t$

$I_t$  – índice de sazonalidade do instante  $t$

$\alpha$  – constante de suavização para base

$\beta$  – constante de suavização para tendência

$\gamma$  – constante de suavização para sazonalidade

$F_t(u)$  – previsão ao final do período  $t$  para o período  $u$  ( $u > t$ ).

Para iniciar o processo, é necessário definir, além da base e tendência iniciais, os índices de sazonalidade iniciais para cada período. Isso pode ser feito considerando o primeiro ciclo sazonal da série e fixando para cada mês a razão entre a demanda de cada mês e a demanda média do período.

Em comparação com os modelos anteriores, o modelo com sazonalidade requer uma quantidade maior de dados, isto é, uma série mais longa, que contenha pelo menos três ciclos sazonais completos (36 meses, por exemplo).

**Exemplo 4.5.** Determine as previsões de demanda pelo método da suavização exponencial com tendência e sazonalidade para os seis meses seguintes da série histórica apresentada na Tabela 4.5.

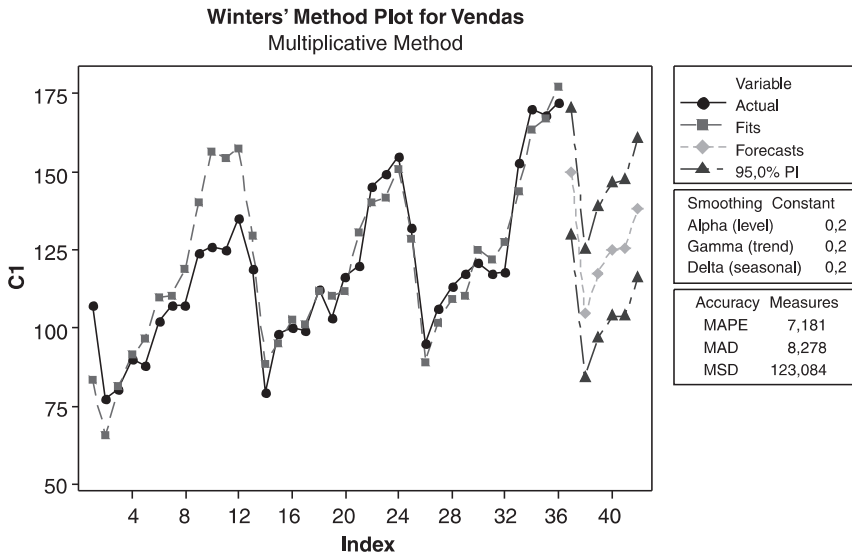
**Tabela 4.5.** Vendas mensais nos últimos três anos para o Exemplo 4.5

MÊS	VENDA	MÊS	VENDA	MÊS	VENDA
1	107	13	119	25	132
2	77	14	79	26	95
3	80	15	98	27	106
4	90	16	100	28	113
5	88	17	99	29	117
6	102	18	112	30	121
7	107	19	103	31	117
8	107	20	116	32	118
9	124	21	120	33	153
10	126	22	145	34	170
11	125	23	149	35	168
12	135	24	155	36	172

Nesse caso, a previsão de demanda foi feita utilizando o software Minitab®; os resultados são apresentados na Tabela 4.6 e graficamente na Figura 4.16. Neste exemplo, foram utilizados  $\alpha = \beta = \gamma = 0,2$ ; outros valores das constantes poderiam resultar em erros de previsão menores.

**Tabela 4.6.** Resultados da previsão para o Exemplo 4.5

MÊS	PREVISÃO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
37	149,930	129,649	170,210
38	104,399	83,801	124,997
39	117,503	96,551	138,455
40	125,025	103,683	146,366
41	125,353	103,590	147,116
42	138,086	115,870	160,302



**Figura 4.16.** Saida do software Minitab® para Exemplo 4.5 – previsão por suavização exponencial com tendência e sazonalidade (método de Holt-Winters).

4.7.1.3 Ajuste de tendências

Esta seção discute o ajuste de tendências às séries temporais. Esse ajuste consiste na determinação de uma função matemática que relaciona a variável demanda (dependente) à variável tempo (independente), a partir do método estatístico dos mínimos quadrados.

Essa abordagem pode ser utilizada para projeções de séries longas, que caracterizam o ciclo de vida de produtos. O primeiro passo na projeção de tendência consiste na representação gráfica da série temporal. A partir da análise visual, identifica-se um padrão da série. A seguir, busca-se uma função matemática que consiga reproduzir esse padrão.

Nesta seção, serão apresentados alguns exemplos de aplicação do método, sem aprofundar muito no tópico, explicado em livros de previsão, já citados na Seção 4.4. O modelo mais simples de projeção melhor é a linear, apresentada no exemplo a seguir.

**Exemplo 4.6.** Os dados da Tabela 4.17 constituem as vendas anuais (em milhares de unidades) de um produto. Determine a projeção linear das vendas para os próximos três anos.

**Tabela 4.7.** Distribuição das vendas anuais

ANO	VENDAS (MIL)
1	28,4
2	30,0
3	32,5
4	38,7
5	41,7
6	47,0
7	50,5
8	54,4
9	63,2
10	67,9

Utilizando a planilha Microsoft Excel®, é possível construir um diagrama de dispersão com as variáveis tempo e vendas. A partir desse diagrama, utilizando o recurso “Ajuste de Tendências”, obtém-se a reta de projeção, sua equação e um coeficiente  $r^2$ , conforme apresentado na Figura 4.17.

A equação da reta, obtida por método estatístico denominado método dos mínimos quadrados, permite calcular as projeções para os anos 11, 12 e 13, que são, respectivamente:

$$\hat{y}(11) = 4,4708 \cdot 11 + 20,833 = 70,0 \quad (25)$$

$$\hat{y}(12) = 4,4708 \cdot 12 + 20,833 = 74,5$$

$$\hat{y}(13) = 4,4708 \cdot 13 + 20,833 = 79,0$$

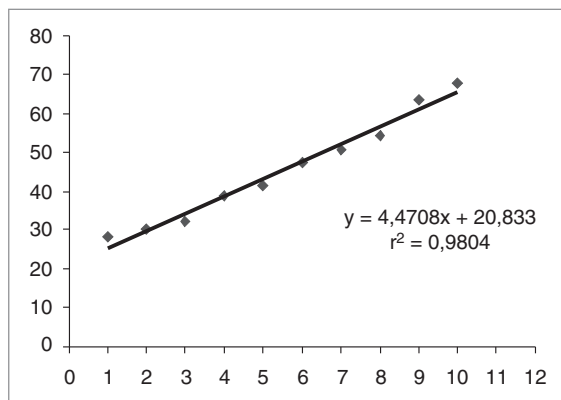


Figura 4.17. Projeção linear das vendas (Exemplo 4.6).

Na Figura 4.17, além da equação da reta, tem-se o coeficiente de determinação ( $r^2$ ), que mede o grau de aderência da série à função ajustada, neste caso, uma função linear. Esse índice será sempre um valor entre 0 e 1. Valores próximos de 1 significam alto grau de determinação. Regra geral, valores acima de 0,8 são considerados adequados, e abaixo de 0,5, insatisfatórios.

Os conceitos utilizados no exemplo anterior podem ser encontrados em livros básicos de Estatística, mais especificamente, nos capítulos sobre regressão linear e correlação.

No exemplo 4.6, os erros de previsão podem ser avaliados utilizando os mesmos indicadores de erro já apresentados. Além dos indicadores de erro, pode-se estimar a demanda futura por intervalos de previsão, calculados com base no desvio-padrão em torno da reta de regressão.

Aplicando o mesmo princípio dos mínimos quadrados, é possível ajustar outras funções como a função polinomial. Efetuando transformações de variáveis, é possível também ajustar as funções exponencial, logarítmica e potência. Essas possibilidades estão disponíveis nos softwares (estatísticos e planilhas) e mesmo em algumas calculadoras científicas.

**Exemplo 4.7.** Para os dados do exemplo anterior, verifique a adequação da substituição do modelo linear por uma função exponencial e polinômio de segundo grau.

Novamente, utilizando o recurso Ajuste de Tendências do Microsoft Excel®, verifica-se que os modelos exponencial e polinomial apresentam coeficientes de determinação bastante próximos e um pouco superiores ao do modelo linear.

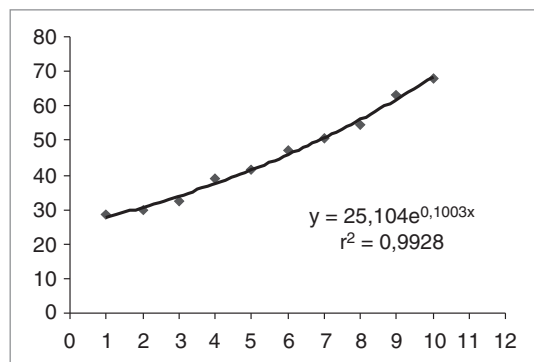


Figura 4.18. Projeção exponencial.

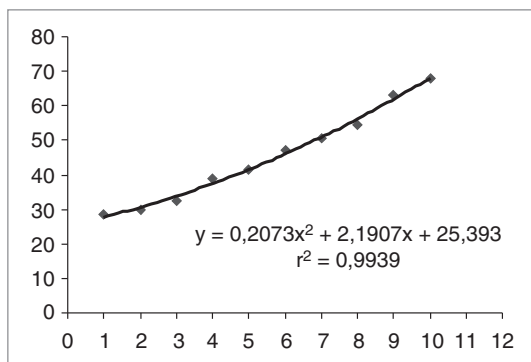


Figura 4.19. Projeção polinomial (segundo grau).

Dessa forma, qualquer um dos dois modelos fornecerá boa projeção para a demanda nos próximos anos. Nessa aplicação, seria adequada uma análise estatística para avaliar se a melhoria obtida com a substituição do modelo linear é significativa ou não.

Ao utilizar um método de projeção, é importante ter claro que a tendência que está sendo projetada pode sofrer uma alteração abrupta, em decorrência de um evento inesperado. Nesse caso, a projeção da série pode tornar-se irreal. Exemplos disso são freqüentes no mercado de capitais, em que um simples boato pode alterar significativamente a trajetória de um ou múltiplos ativos negociados em bolsa.

#### 4.7.1.4 Métodos de decomposição

Na seção anterior, discutiu-se a projeção de tendências em séries sem sazonalidade. Nesta, apresenta-se um método conhecido como decomposição clássica, que permite a projeção de tendências com sazonalidade.

O princípio básico consiste em, primeiramente, retirar o efeito sazonal dos dados, produzindo uma série “dessazonalizada”. A seguir, essa série sem a variação sazonal é projetada de forma semelhante à apresentada na subseção anterior. Finalmente, os valores projetados são novamente corrigidos, incluindo o fator sazonal.

Na decomposição clássica, o fator sazonal pode ser aditivo ou multiplicativo. No primeiro caso, o efeito sazonal é obtido pela adição de uma parcela à demanda base. No segundo, mais utilizado que o primeiro, o efeito sazonal é obtido multiplicando-se a demanda base por um índice de sazonalidade associado ao período. Períodos de maior demanda apresentam índices de sazonalidade maiores que um e, ao contrário, períodos de baixa demanda, índices abaixo de um.

A seguir, apresenta-se um exemplo de aplicação do método para os dados do Exemplo 4.5, analisado anteriormente pelo método da suavização exponencial com tendência e sazonalidade.

**Exemplo 4.8.** Determine as previsões de demandas pelo método da decomposição clássica para os seis meses seguintes da série histórica apresentada na Tabela 4.5.

A previsões de demanda, neste caso, foi feita utilizando novamente o software Minitab®. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

### TIME SERIES DECOMPOSITION FOR VENDAS

Multiplicative Model		(Modelo Multiplicativo)
Data	Vendas	(Dados)
Length	36	(Extensão)
NMissing	0	(Dados Faltantes)
Fitted Trend Equation		(Equação da Tendência Ajustada)
$Y_t = 96,94 + 1,10 * t$		
Seasonal	Indices	(Índices sazonais)
Period	Index	(Período / Índices)
	1	1,07003
	2	0,73744
	3	0,86133
	4	0,88714

5 0,88486  
 6 0,94420  
 7 0,94249  
 8 0,99019  
 9 1,07777  
 10 1,18111  
 11 1,18199  
 12 1,24145

Accuracy Measures

(Medidas de Erro)

MAPE 3,4835  
 MAD 4,0673  
 MSD 27,6080

(Erro Percentual Absoluto Médio)  
 (Desvio Absoluto Médio)  
 (Desvio Quadrado Médio)

Forecasts

(Previsões)

Period Forecast

(Período/Previsão)

37 147,355  
 38 102,367  
 39 120,513  
 40 125,102  
 41 125,756  
 42 135,229

Nessa saída, tem-se a equação de projecção da demanda ( $y_t = 96,94 + 1,10 * t$ ) e os coeficientes de sazonalidade para cada mês (neste exemplo, utilizou-se o modelo multiplicativo). A seguir, são apresentados os erros e as previsões para os próximos seis meses, já incluindo o fator sazonal de cada mês. A Figura 4.20 apresenta esses resultados graficamente.

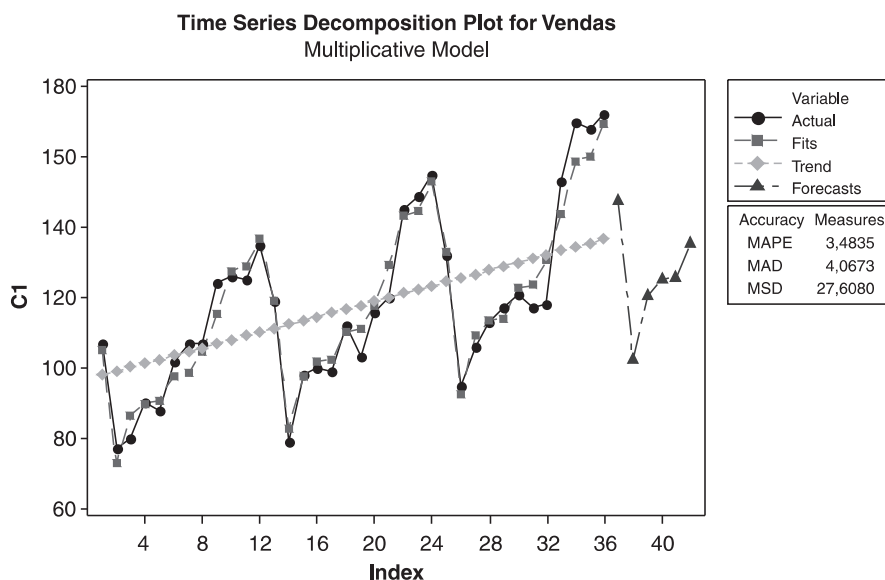


Figura 4.20. Saída do software Minitab® para Exemplo 2.8 – previsão por decomposição clássica.

#### 4.7.2 Modelos de correlação e regressão

A análise de regressão consiste no estudo da correlação entre uma variável de resposta e uma ou mais variáveis independentes. A partir da identificação da existência de correlação, constrói-se um modelo de regressão para prever os valores da variável de resposta (variável dependente) em função das variáveis independentes. Nesta seção, discute-se a aplicação da análise de regressão na previsão de demanda.

Nas duas seções anteriores, buscou-se um modelo de regressão relacionando a variável demanda à variável tempo. Além da variável tempo, é possível correlacionar a demanda com muitas outras variáveis e, a partir de estimativas dos valores futuros dessas variáveis, obter uma previsão de demanda mais confiável. Para ilustrar esse conceito, considere um exemplo simples da correlação das vendas com o investimento em publicidade, apresentado a seguir.

**Exemplo 4.9.** Os dados da Tabela 4.8 constituem as vendas trimestrais (em milhares de reais) de um produto de consumo e os gastos do fabricante com publicidade nos últimos oito trimestres. Considerando uma estimativa de investimento em publicidade de R\$5 milhões, calcule a expectativa de vendas nesse período. Idem para gastos de 6, 7 e 8 milhões.

**Tabela 4.8.** Distribuição das vendas e gastos com publicidade nos últimos trimestres

TRIMESTRE	PUBLICIDADE (R\$ MI)	VENDAS (R\$ MI)
1	4,42	107,10
2	5,07	86,70
3	5,98	131,40
4	8,44	160,80
5	4,10	94,50
6	6,37	117,50
7	7,95	142,80
8	8,40	137,10

A Figura 4.21 apresenta o diagrama de dispersão entre as variáveis “gastos com publicidade” *versus* “vendas” em cada trimestre. Com auxílio do recurso “Ajuste de Tendências” do Microsoft Excel®, obtém-se a reta de regressão, sua equação e o coeficiente  $r^2$ , que neste exemplo está um pouco abaixo de 0,8.

A equação da reta dos mínimos quadrados permite calcular as previsões para gastos de 5, 6, 7 e 8 milhões de reais em propaganda, que são, respectivamente:

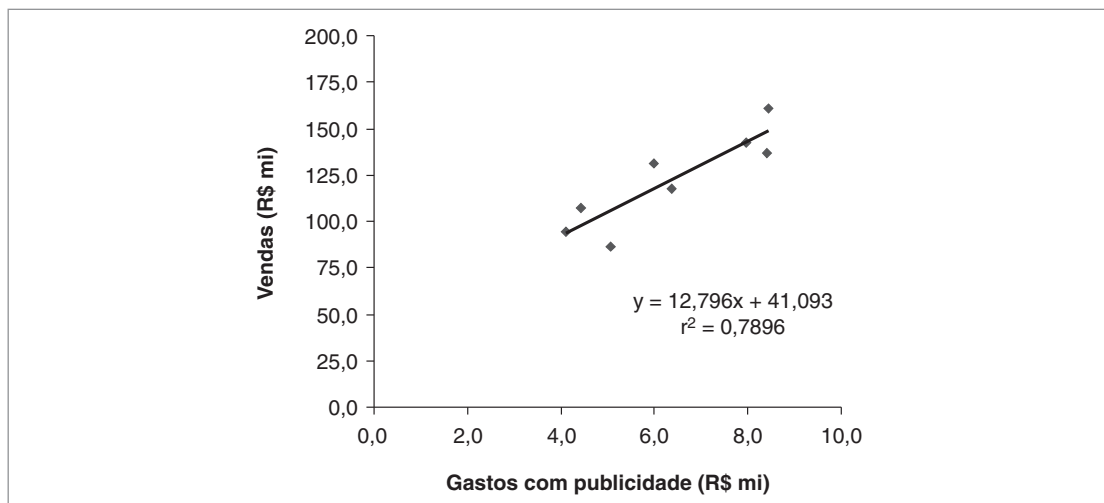
$$\begin{aligned}
 \hat{y}(5) &= 12,796 \cdot 5 + 41,093 = 105,07 \\
 \hat{y}(6) &= 12,796 \cdot 6 + 41,093 = 117,87 \\
 \hat{y}(7) &= 12,796 \cdot 7 + 41,093 = 130,67 \\
 \hat{y}(8) &= 12,796 \cdot 8 + 41,093 = 143,46
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

Esses valores podem ser apresentados também na forma de intervalos de previsão.

O exemplo anterior ilustra a aplicação de um modelo de regressão linear simples, no qual se correlaciona a variável vendas com uma única variável independente, no caso, o investimento em publicidade. No exemplo, como o coeficiente de determinação é relativamente baixo, valeria a pena investigar a possibilidade de inclusão de novas variáveis independentes no estudo, desenvolvendo um modelo de regressão múltipla com maior poder de previsão.

Normalmente modelos de previsão mais sofisticados são utilizados para planejamento agregado da produção e da capacidade. Nesses casos, uma análise estatística de maior profundidade é necessária tanto no desenvolvimento dos modelos, quanto na interpretação dos resultados.





**Figura 4.21.** Diagrama de dispersão: gastos com publicidade *versus* vendas.

Considere, por exemplo, o problema de planejamento anual da produção em um fabricante de cimento com múltiplas plantas e demanda distribuída por uma extensa área geográfica. No processo de planejamento agregado da produção, necessita-se de previsões mensais de demanda por famílias de produtos e segmentos de mercado, para um horizonte mínimo de 12 meses.

Uma alternativa seria o desenvolvimento de um modelo de regressão múltipla, buscando correlacionar a variável demanda com algumas variáveis macroeconômicas como, por exemplo, taxas de crescimento do PIB, índice de desemprego, valor do salário mínimo, taxas de financiamento imobiliário, previsão de investimentos do governo em infra-estrutura etc. Além dessas, poderiam ser incluídas variáveis específicas do mercado em questão como sazonalidade (mês), preços praticados, volume de produção etc. Mais informações a respeito do processo de construção e implantação de modelos de regressão múltipla para previsão de demanda podem ser encontradas nas referências ao final do capítulo.

Percebe-se que a complexidade dos modelos de previsão depende da aplicação, ou seja, do uso que se pretende fazer dos resultados da previsão de demanda. Nos níveis de planejamento tático e estratégico, faz sentido um estudo mais detalhado da demanda e do próprio processo de previsão, visto que as decisões baseadas nessas previsões terão um impacto maior no resultado operacional da empresa.

#### 4.8 IMPLANTAÇÃO

Este capítulo abordou o processo de previsão de demanda dentro do contexto mais geral do Planejamento e Controle da Produção. Nesse sentido, a implantação ou melhoria dos métodos de previsão existentes visa, em última instância, a melhoria dos processos de decisão subseqüentes na gestão da produção e estoques. Por isso, é comum avaliar a eficácia da implantação ou melhoria do processo de previsão a partir de indicadores próprios da gestão da produção e estoques, como, por exemplo, nível de estoques e custos de produção.

Na implantação de processos de previsão, o ponto de partida seria a construção de uma base de dados e, a seguir, a adoção de modelos de previsão. Atualmente, com os recursos de tecnologia de informação disponíveis, não há grande dificuldade em coletar, armazenar e recuperar dados e informações históricas sobre demanda. Isso pode ser feito com auxílio de softwares aplicativos de planilha e banco de dados, e a solução adotada irá variar conforme o porte da empresa.

Quanto à adoção dos modelos, recomenda-se a incorporação gradual de métodos quantitativos de previsão que, em complemento aos métodos qualitativos (consenso de opinião), devem contribuir para melhoria dos processos de previsão e, por conseguinte, melhorar o desempenho da gestão da produção e estoques. Esses modelos podem ser desenvolvidos em planilha ou implantados com auxílio de softwares específicos de previsão de demanda disponíveis no mercado. A segunda opção acarreta um custo adicional de aquisição e treinamento, mas pode trazer benefícios significativos ao processo. Uma pesquisa periódica sobre softwares de previsão de demanda é publicada na edição eletrônica da revista *ORMS Today*, disponível na Internet.

Finalmente, o investimento no aprimoramento do processo de previsão, ponto de partida do Planejamento e Controle da Produção, deve estimular a integração das atividades de planejamento da empresa e contribuir para a melhoria da gestão da demanda, que envolve, além da previsão, a adoção de estratégias compartilhadas para o atendimento da demanda.

#### 4.9 REVISÃO DOS CONCEITOS

A disponibilidade de dados confiáveis de previsão de demanda futura é fundamental para o bom desempenho do Planejamento e Controle da Produção em empresas de manufatura, pois é com base nesses dados que são tomadas decisões como contratação e demissão de pessoal, dimensionamento de estoques sazonais, investimentos em expansão ou redução da capacidade produtiva, contratos de fornecimento com clientes e fornecedores etc. No setor de serviços, também se percebe a premência de um bom sistema de previsão, que oriente o dimensionamento da área de operações com vistas à manutenção da qualidade dos serviços prestados.

Neste capítulo, discutiu-se o processo de previsão de demanda no contexto do PCP, com destaque para os modelos de previsão e a necessidade de integração da previsão de demanda com os demais processos de decisão. Os resultados da previsão de demanda irão alimentar os modelos de estoques e de planejamento agregado da produção, abordados nos capítulos seguintes.

Vale destacar que, neste texto, buscou-se apresentar os fundamentos de previsão de demanda, um campo bastante amplo e importante para a gestão da produção. O leitor interessado em aprofundar os conceitos aqui abordados não terá dificuldade em encontrar referências bibliográficas e recursos na Internet a respeito do tema (artigos, software, grupos de discussão etc.). Artigos sobre previsão de demanda são publicados em periódicos acadêmicos especializados como o *International Journal of Forecasting* e *Journal of Business Forecasting*, além dos periódicos da área de Engenharia de Produção, nacionais e internacionais.

#### PALAVRAS-CHAVE

Autocorrelação (*autocorrelation*)  
Ciclo de vida do produto  
Componentes da demanda:  
Base (*level*)  
Sazonalidade (*seasonality*)  
Tendência (*Trend*)  
Decomposição clássica (*classical decomposition*)  
Demanda dependente / independente  
Erro absoluto médio (*mean absolute deviation*)  
Erro percentual absoluto médio (*mean absolute percentage error*)  
Erro quadrático médio (*mean square deviation*)  
Erros de previsão (*forecasting accuracy*)  
Média móvel (*moving average*)  
Previsão de demanda (*demand forecasting*)

Previsão por consenso (*judgmental forecasting*)

Processo de previsão (*forecasting process*)

Regressão linear (*linear regression*)

Séries temporais (*time series*)

Software de previsão (*forecasting software*)

#### 4.10 EXERCÍCIOS

1. Quais os fatores que influenciam a demanda dos produtos de uma empresa?
2. Qual a importância da previsão da demanda para o PCP?
3. Como avaliar a qualidade do processo de previsão de demanda em uma empresa de manufatura?
4. Como as empresas podem reduzir as incertezas associadas à previsão da demanda?
5. Explique o que significa “demanda dependente” e como esse conceito se relaciona com a previsão de demanda.
6. Quais as necessidades de previsão de demanda em cada nível de planejamento (agregado e detalhado da produção)?
7. Quais os indicadores de erro normalmente utilizados em previsão de demanda?
8. Qual a diferença conceitual entre os métodos de previsão qualitativos e quantitativos. Dentre os quantitativos, qual a diferença entre os métodos de projeção e correlação?
9. Quais são os fatores considerados na suavização exponencial?
10. Qual seria o resultado do uso de um modelo de suavização simples na previsão de demanda de um produto em crescimento de vendas?
11. Qual o significado e como são calculados os índices de sazonalidade nos modelos de previsão?
12. O que se entende por calibração de um modelo de previsão? Como fazê-la?
13. Quais os fatores críticos na implantação de um sistema de previsão de demanda?
14. Um produto com demanda estacionária registrou os seguintes valores de vendas nas últimas semanas:

Semana	1	2	3	4	5	6
Vendas	435	450	390	405	470	425

- a. utilizando o método da média móvel com três períodos, determine as previsões de demanda para as semanas 4, 5 e 6;
  - b. calcule os erros de previsão para os resultados do item (a).
15. Os dados a seguir representam as vendas de um produto recém-lançado no mercado.

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8
Demanda	100	112	108	120	126	125	138	141

Pede-se:

- a. represente graficamente a série histórica;
  - b. determine as previsões de demanda de cada período pelo método da suavização exponencial simples com  $\alpha = 0,2$  e  $B_0 = 100$ ;
  - c. avalie a adequação do modelo de previsão adotado.
16. Refaça o Exercício 5, utilizando o modelo de suavização exponencial com tendência, utilizando  $B_0 = 100$ ,  $T_0 = 5$ ,  $\alpha = 0,2$  e  $\beta = 0,1$ . Compare os resultados obtidos com os anteriores.
17. Uma empresa está elaborando o orçamento para o próximo ano, com base nos dados de vendas trimestrais dos dois últimos anos, apresentados a seguir.

Trimestre	1	2	3	4	5	6	7	8
Vendas	81	90	128	122	89	96	140	132

Considerando índices de sazonalidade de  $0,8 / 0,85 / 1,20$  e  $1,15$  para cada trimestre do ano, nessa ordem, pede-se:

- a. represente graficamente a série histórica;
- b. determine a projeção linear da demanda “dessazonalizada” (demanda dividida pelo fator sazonal do período) para os quatro trimestres seguintes;
- c. calcule as previsões de demanda para cada trimestre do ano seguinte;
- d. quais cuidados devem ser observados na utilização dessas previsões?

- 18 A tabela a seguir apresenta os custos de produção e as quantidades produzidas em diferentes meses do ano.

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Quantidade	10	8	7	14	16	12	8	10	15	12
Custo de Produção	72	60	56	78	102	79	66	61	90	86

Pede-se:

- represente graficamente a série histórica;
- determine a equação linear que relaciona o custo à quantidade produzida e o correspondente coeficiente de determinação;
- qual a interpretação para os coeficientes da reta nesse caso?
- qual a previsão de custos para um volume de produção de 20.000 unidades?

# Gestão de estoques

GILBERTO FREIRE

MARCO A. MESQUITA

## ■ OBJETIVOS DE APRENDIZADO

Este capítulo tem o propósito principal de organizar os conhecimentos relativos à gestão de estoques no contexto do processo mais geral de planejamento e controle da produção.

Neste capítulo são abordadas as decisões mais importantes da gestão de estoque. Delineiam-se técnicas e fundamentos para definir o que repor (quais itens, produtos ou materiais devem ser repostos), quando a reposição deve ser acionada (emitindo ordens de aquisição ou fabricação) e quanto repor (quantidades dos itens necessárias para a reposição dos estoques até os níveis desejados). Também são apresentadas neste capítulo as diferentes formas de organização e cálculos envolvidos nessas decisões.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Os estoques representam um importante ativo nas empresas de manufatura e, por isso, devem ser gerenciados de forma eficaz para não comprometerem os resultados da empresa. Atualmente, as melhores práticas de gestão da cadeia de suprimentos passam, inevitavelmente, pela gestão de estoques. Em particular, as práticas de compartilhamento de informações e planejamento colaborativo entre clientes e fornecedores visam atenuar o chamado “efeito chicote”, isto é, o acúmulo de estoques e atrasos ao longo das cadeias de suprimentos.

Os estoques possuem diversas dimensões, o que os torna objeto de estudo em diferentes disciplinas da Engenharia de Produção. Primeiramente, possuem aspecto financeiro relevante, seja pelo capital nelas investido, seja pelas possibilidades de negócios que permitem. São, também, recursos importantes no planejamento e controle da produção, pela independência que conferem às etapas do processo produtivo. Estoques demandam sistemas de informação para seu controle e fornecem dados importantes para os demais sistemas de gestão da empresa. Possuem, ainda, uma dimensão técnica, associada ao dimensionamento e arranjo físico (*layouts*), operação e manutenção das instalações e dos equipamentos de movimentação e armazenagem. Finalmente, quando se pensa na cadeia de distribuição, novamente há que considerar a importância da gestão dos estoques e transporte entre múltiplas localidades.

Embora seja um tema de muitas abordagens possíveis, estoques têm sido definidos de uma forma bastante consistente ao longo do tempo, com várias definições semelhantes dadas por diversos autores. Love (1979) apresenta a seguinte definição:

“Estoque é qualquer quantidade de produtos ou materiais, sob controle da empresa, em um estado relativamente ocioso, esperando por seu uso ou venda.”

Nela se encontram os elementos mais importantes do estudo de estoques. Começando pela referência a produtos ou materiais, fica claro que o termo estoque não se aplica a bens intangíveis como,

por exemplo, o capital financeiro e intelectual da empresa. Sua adoção, neste capítulo, restringe o estudo, portanto, a reserva de bens tangíveis.

A referência ao controle da empresa distingue o estoque de outros tipos de materiais armazenados que não estão sob a gestão da empresa. Isso ocorre, por exemplo, quando armazéns são fisicamente compartilhados com outras empresas, ou em algumas condições de transporte, sob a gestão de terceiros. Assim, é importante considerar a limitação do conceito às quantidades efetivamente sob o controle da empresa.

O estado ocioso dos produtos ou materiais, à espera de uso ou venda, revela uma característica importante dos estoques: neles não costuma haver transformação. Produtos armazenados, mas em processo de transformação, como vinhos em envelhecimento ou fermentação, produtos lácteos em processo de cura ou peças pintadas aguardando secagem são exemplos de situações em que há transformação e, portanto, caracterizam itens em processo e não em estoque. De forma análoga, a consolidação de cargas, embalagem e outras atividades comuns nos recintos de armazenamento não pertencem, no sentido mais “puro”, ao sistema de controle de estoques.

Um **sistema de estoque puro**, portanto, não abrange atividades de transformação nem de transporte de produtos. Seu foco são as atividades e decisões que afetam os níveis dos estoques e a lógica utilizada na organização delas (modelo ou política de estoque). Por outro lado, quando se considera a gestão de estoques na indústria, as decisões de estoques e produção devem ser consideradas conjuntamente. Para diferenciar essa situação da primeira, denominaremos esses sistemas de **sistemas de produção e estoques**, destacando a necessidade de uma gestão integrada de ambos os aspectos.

Os sistemas de estoques puros podem ser classificados em:

- sistema de local único – onde o problema de controle se concentra no equilíbrio entre os custos de reposição e manutenção dos estoques e a disponibilidade dos itens para atendimento da demanda;
- múltiplos locais – além dos custos mencionados para local único, custos de transporte e tempos de resposta desempenham papel fundamental na configuração e operação do sistema. Além do “o que”, “quando” e “quanto” reabastecer, adiciona-se a decisão de “onde” estocar cada item.

Dentre as decisões mais importantes de gestão desses sistemas de estoque estão aquelas que definem o que repor (quais itens, produtos ou materiais devem ser repostos), quando a reposição deve ser acionada (emitindo ordens de aquisição ou fabricação) e quanto repor (quantidades dos itens necessárias para a reposição dos estoques até os níveis desejados). As diferentes formas de organização e cálculos envolvidos nessas decisões caracterizam os diferentes modelos utilizados nos sistemas de controle de estoques.

Neste livro, o tema estoques está presente, direta ou indiretamente, em diversos capítulos. Assim, a utilização dos estoques como elemento do Planejamento Agregado da Produção é vista no Capítulo 6. A gestão de itens de demanda dependente é parte importante dos sistemas MRP, abordados no Capítulo 7. No Capítulo 10, discute-se o problema de gestão de estoques em múltiplos locais, onde a variação dos tempos de espera e os custos de transporte entre os locais de produção, estocagem e consumo são também relevantes para as decisões da gestão. Portanto, uma completa visão do tema estoques requer o estudo de diversas outras áreas do conhecimento EM gestão de operações.

Neste capítulo, o foco será o planejamento e o controle de estoque em sistemas de estoque puro em local único, com ênfase na análise das decisões de quando e quanto repor. Os modelos aqui apresentados, que compõem a Teoria Clássica de Estoques, é o ponto de partida para a compreensão de problemas mais complexos, como os tratados nos capítulos seguintes.

Este capítulo apresenta inicialmente uma classificação dos tipos de estoque (Seção 5.2), suas funções e custos associados (5.3). Em seguida, na Seção 5.4, discute-se a classificação ABC ou análise de Pareto e sua utilização na gestão de estoques. Alguns indicadores de desempenho na gestão de estoque são apresentados na Seção 5.5. A Seção 5.6 trata dos modelos de reposição de estoques mais im-

portantes. Por fim, encerra-se o presente capítulo com uma discussão a respeito dos sistemas de controle (Seção 5.7), seguida pelas conclusões e desdobramento dos assuntos tratados neste capítulo.

## 5.2 TIPOS DE ESTOQUE

Dentro de uma instalação industrial, os estoques geralmente são classificados de acordo com o tipo de material que os compõe. Estoques de matérias-primas e componentes (MP), estoques de materiais indiretos necessários à operação dos processos (*Maintenance, Repair and Operating* – MRO), materiais em processo de transformação (*Work In Process* – WIP) ou semi-acabados e estoques de produtos acabados (PA) são classificações tradicionais encontradas no ambiente fabril. Elas costumam coincidir com as divisões da gestão desses estoques, cujos objetivos podem ser bem diferentes entre si. Assim, o responsável pelo estoque de matérias-primas pode dar prioridade ao atendimento sem falta à produção, enquanto o WIP e o MRO devem ser controlados para melhor eficiência em custos. Já os estoques de PA devem ser balanceados, proporcionando um nível de atendimento ao cliente e custos de produção e estoques equilibrados.

Outra forma de classificar os estoques tem relação com a demanda dos itens. Enquanto os itens acabados carregam uma incerteza em sua demanda, devido a variações não previsíveis do mercado, as demandas de componentes e matérias-primas possuem uma relação direta com o produto acabado, derivada do projeto. Uma vez definidas as quantidades de produtos finais a serem produzidas, ficam definidas, por consequência, as quantidades de componentes e materiais necessários para sua produção, numa relação que é denominada demanda dependente. Os itens podem, dessa forma, ser classificados em **demanda independente**, devido ao mercado e com alguma parcela de incerteza, ou **demanda dependente**, quando a necessidade está associada à produção de outros itens ou produtos finais. Essa correlação é particularmente importante no estudo dos sistemas de Planejamento das Necessidades de Materiais (ou *Material Requirements Planning* – MRP), apresentados no Capítulo 7.

Com a visão sistêmica que vem, cada vez mais, ampliando os limites da gestão de operações, o controle integrado dos estoques na cadeia de suprimentos passou a ser objeto de estudos e racionalização. Estoques nos fornecedores, distribuidores, varejistas e em trânsito transformaram-se em oportunidades de redução de custos e melhorias de atendimento, numa nova dimensão de controle que ultrapassa os limites das empresas e requer novas formas de contratação e parcerias. Como exemplo disso, pode-se citar a indústria automobilística que, a partir da disseminação do modelo de produção puxada, estabeleceu um novo padrão de gestão da produção e estoques na indústria de manufatura.

A gestão de estoques está presente também no setor de serviços, em particular, o estoque de materiais auxiliares (MRO) necessários à prestação dos serviços. Hospitais necessitam de medicamentos e materiais cirúrgicos dentro dos prazos de validade e nas quantidades corretas para atendimento aos pacientes. Empresas aéreas dependem fundamentalmente da boa manutenção de suas aeronaves e equipamentos, o que implica estoques de componentes, ferramentas e materiais prontamente disponíveis. Em ambos os casos, os valores investidos nesses estoques são grandes, tornando sua gestão um dos fatores-chave de sucesso da empresa.

## 5.3 FUNÇÕES E CUSTOS

Uma importante propriedade dos estoques é a independência que eles criam entre as operações que ocorrem antes e depois deles nos processos produtivos e na distribuição dos produtos. Sistemas de reposição (em geral, produção e compra) podem fornecer quantidades de itens em ritmos completamente diferentes da demanda, mantendo os níveis de atendimento desejados, graças à existência dos estoques. Evidentemente, o nível de estoque necessário para isso depende fundamentalmente da diferença entre o suprimento e a demanda.

Com base nessa propriedade, os estoques são utilizados em diversas funções, que podem ser agrupadas da seguinte forma:

**Pronto atendimento** – a existência de estoques com esta função garante que o atendimento da demanda seja feito dentro do menor prazo possível, principalmente para itens que possuam grandes tempos para obtenção (*lead times* grandes). Estoques de produtos acabados para atendimento dos clientes e os do tipo MRO são exemplos de estoques com este tipo de função.

**Ganho de escala** – estoques são utilizados para permitir uma eficiência maior de certos processos de produção e de transporte, resultando no que é conhecido como ganho de escala. Descontos para aquisição em grandes quantidades geram, por um lado, ganhos de escala no fabricante e, por outro, geram custos de estoques no cliente. Estoques com esta função são denominados estoques de ciclo ou estoques de tamanho de lote. Em geral, são criados entre os estágios de produção e distribuição ao longo das cadeias de suprimentos.

**Proteção** – os estoques podem ter a função de proteger partes da cadeia de suprimentos da falta de itens, falta esta geralmente provocada pelas flutuações não previstas do suprimento e da demanda. São, por isso, denominados estoques de segurança. A maioria dos estoques existentes na cadeia de suprimentos possui uma parcela dos itens com esta função, como os estoques de produtos acabados, para reduzir o não-atendimento de clientes, e os de matérias-primas, para prevenir a descontinuidade do processo de produção. Esses estoques de segurança podem ser observados também no chão de fábrica, promovendo certa independência entre os estágios de produção.

**Antecipação** – são estoques cuja função é atender uma demanda futura prevista, utilizando a capacidade de abastecimento atual. Ajudam a nivelar a produção e o transporte em face de flutuações previstas de demanda e de suprimento, como nos casos de sazonalidades, férias da produção, manutenção etc.

**Especulação** – semelhante à função de antecipação, a função de *hedge* de estoques é, porém, associada aos riscos relacionados ao câmbio e variações bruscas dos preços futuros. Nesse caso, o foco é o preço dos itens, geralmente *commodities*, e os estoques são feitos para proteção contra esses riscos e aumentos de preço futuros.

Cada estoque existente pode cumprir uma ou mais funções, que devem orientar a escolha dos modelos de reposição e seus respectivos parâmetros. Como se depreende das funções descritas, o uso de estoques está sempre associado ao uso mais eficiente dos recursos ou ao melhor atendimento do cliente, benefícios que impactam positivamente o desempenho financeiro das organizações.

Esses benefícios, contudo, não são gratuitos. Estoques implicam em custos que, mal administrados, podem superar os ganhos obtidos com sua existência. O entendimento da natureza desses custos é, portanto, vital para o dimensionamento e controle dos estoques. Os custos associados aos estoques podem ser tratados em três grupos:

**Custos de pedido** – os custos deste grupo estão associados à decisão de repor os estoques e não variam com o tamanho dos lotes. O custo de preparação das linhas de produção, da parte burocrática envolvida na emissão de ordens de compra são alguns dos custos deste grupo. Alguns custos de transporte podem ser considerados custo de pedido, desde que sejam fixos por pedido. Quanto maior a frequência de reposição dos estoques, maiores serão os custos de pedidos incorridos.

**Custos de armazenagem** – neste grupo estão incluídos os custos que variam com o volume de itens mantidos em estoque, isto é, quanto maior o nível de estoque, maiores os custos de armazenagem. Estes custos podem ainda ser subdivididos em:

*Custo do capital* – capital imobilizado sob a forma de itens (ociosos) em estoque, que poderia ser utilizado para outras finalidades (custos de oportunidade). Em geral é estimado com base nas taxas de juros praticadas no mercado financeiro.

*Custo de estocagem e manuseio* – custo das instalações, do pessoal e equipamentos dos armazéns, cuja maior parcela varia com o volume dos estoques.



*Custos de perdas de material por obsolescência e deterioração* – também são custos associados à armazenagem e ao tamanho do estoque.

**Custos de faltas** – os custos deste grupo ocorrem sempre que o estoque falha em sua função de atender a demanda no tempo ou na quantidade. É de difícil estimativa, por incluir perdas futuras e intangíveis, como o impacto na imagem da empresa junto ao mercado. As faltas podem se transformar em atrasos ou perda de vendas. No primeiro caso, a realização dos lucros é adiada, e se incorre em custos extras de aceleração da reposição e entregas. Perdas de vendas também são geradas por falta, e podem incluir outros itens que, mesmo disponíveis, não serão consumidos devido à falta do primeiro. Os custos de faltas também variam com o tamanho do estoque, em geral de forma inversa aos custos de armazenagem, já que o aumento dos estoques reduz o risco de faltas.

Da relação entre esses três grupos de custos depende o custo total de operação do estoque e, portanto, a eficiência econômica dos estoques.

Embora este seja um quadro excessivamente simplificado em relação à realidade, os componentes principais do problema de gestão de estoques estão presentes nele. Com o custo de pedido puxando o tamanho dos lotes para cima (e, portanto, reduzindo a frequência de pedidos) e o custo de armazenagem puxando-o para baixo (diminuindo o estoque médio), fica claro que o problema consiste em ponderar essas decisões (frequência e quantidade) de forma a equilibrar os custos. A inclusão do custo de falta e de variações na demanda e nos tempos de espera de reposição coloca mais complexidade à decisão, mas não muda o fundamental, que é definir o momento e a quantidade a repor.

Outros custos podem impactar os estoques, embora não sejam tratados dentro dos sistemas de gestão de item único e local único. Restrições tecnológicas também podem impor estoques em processo para viabilizá-los. Esses casos são abordados quando do estudo das decisões de planejamento estratégico e de operação da cadeia de suprimentos, foco de outros capítulos.

## 5.4 CLASSIFICAÇÃO ABC

As grandes organizações costumam manter centenas ou milhares de tipos de itens em estoque para seu funcionamento. Em épocas passadas, sem a disponibilidade do computador, uma das grandes restrições da gestão era a escassez de tempo e mão-de-obra para a tomada de decisões e controle dos diferentes itens em estoque. As revisões periódicas de estoque e a concentração de esforços nos itens de maior importância foram ferramentas importantes de gestão nessas épocas, permanecendo até hoje como boas práticas de controle de estoque.

Determinar a importância de cada item e concentrar a maior parte dos esforços da gestão nos mais importantes tornou-se uma prática eficiente na administração desde que Vilfredo Pareto, em 1897, enunciou sua lei das poucas causas importantes para as muitas conseqüências.

Também conhecida como lei 80/20, ou curva ABC, a lei de Pareto estabelece que, para um grande número de fenômenos, a maior parte dos efeitos (aproximadamente 80% destes) está associada a poucas causas (20%), gerando uma curva acumulada semelhante à da Figura 5.1.

Esse princípio, aplicado à gestão de estoques, permite que o gestor concentre seus esforços nos principais itens (itens A), aplicando um controle menos rigoroso aos itens de importância intermediária (itens B) e menos ainda ao numeroso grupo de itens de menor importância (itens C). Um exemplo ajuda a entender essa abordagem.

### Exemplo 5.1. Aplicação do princípio de Pareto ao controle de estoques

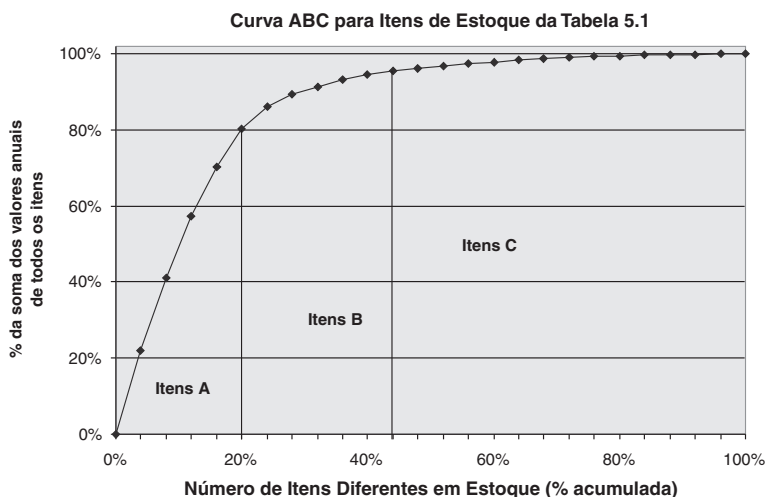
Uma organização possui em seus estoques 25 itens diferentes, com preços de compra e demandas anuais também diferentes. Adotando-se como critério de importância o valor movimentado no período de um ano, pode-se construir a Tabela 5.1, já ordenada de forma decrescente do valor anual total dos itens.

Os itens 1 a 5 (classe A), responsáveis por mais de 80% do valor total das compras previstas para o ano, são os itens considerados mais importantes, e devem receber a maior parte do esforço da ges-

tão. Os itens 6 a 11 (classe B) contribuem com aproximadamente 15% do total, sendo, portanto, de importância intermediária, devendo receber atenção correspondente da gestão. Finalmente, os restantes 13 itens, com contribuição ao redor de 5% do total, devem receber menor atenção (classe C). A curva do custo acumulado é apresentada na Figura 5.1.

**Tabela 5.1.** Dados para construção da curva de Pareto do Exemplo 5.1

CÓDIGO DO ITEM DE ESTOQUE	DEMANDA ANUAL (UNIDADES)	PREÇO DE COMPRA (R\$/UNIDADE)	VALOR ANUAL DOS ITENS DEMANDADOS (R\$000S/ANO)	% DA SOMA DOS VALORES DOS 25 ITENS	% ACUMULADA DA SOMA DOS VALORES DOS 25 ITENS
1	1000	12,10	12100	22,06%	22,06%
2	1500	6,95	10425	19,01%	41,07%
3	700	12,60	8820	16,08%	57,15%
4	850	8,42	7157	13,05%	70,21%
5	600	9,05	5430	9,90%	80,11%
6	300	11,00	3300	6,02%	86,12%
7	56	30,00	1680	3,06%	89,19%
8	2500	0,44	1100	2,01%	91,19%
9	10	110,00	1100	2,01%	93,20%
10	150	4,30	645	1,18%	94,37%
11	950	0,55	523	0,95%	95,33%
12	124	3,54	439	0,80%	96,13%
13	500	0,85	425	0,77%	96,95%
14	1120	0,25	280	0,51%	97,46%
15	630	0,44	277	0,51%	97,97%
16	125	2,20	275	0,50%	98,47%
17	80	2,74	219	0,40%	98,87%
18	2200	0,08	176	0,32%	99,19%
19	500	0,21	105	0,19%	99,38%
20	450	0,21	95	0,17%	99,55%
21	450	0,12	54	0,10%	99,65%
22	1350	0,04	54	0,10%	99,75%
23	2000	0,03	60	0,11%	99,86%
24	350	0,15	53	0,10%	99,95%
25	190	0,27	51	0,09%	100%
			54842		



**Figura 5.1.** Curva ABC de Pareto para os itens da Tabela 5.1.

No exemplo, a demanda de cada item, expressa em reais, foi o critério para atribuir importância aos itens em estoque. Esse critério pode variar, dependendo da função do estoque, sendo comum utilizar custo de falta e dificuldade de reposição do item como critérios de importância. O critério pode ser também uma combinação deles, o que previne que somente um aspecto do problema seja considerado.

A curva ABC na gestão de estoques necessita de atenção em sua utilização. A pouca atenção aos itens C, combinada com uma dependência forte entre todos os itens, por exemplo, pode levar a grandes desbalanceamentos do estoque. A falta de um item C, de baixo valor mas necessário para a montagem de um produto final, geralmente leva o relaxamento do controle para o lado dos grandes estoques, o que pode representar valores significativos de capital investido, de certa forma, frustrando o objetivo da gestão ao lançar mão dessa técnica.

## 5.5 INDICADORES DE DESEMPENHO

Como citado anteriormente, a gestão de estoques tem como atividade básica manter um equilíbrio entre os custos de pedido, armazenagem e falta. Além disso, a gestão precisa manter-se alinhada com as táticas e estratégias da organização, que mudam ao longo do tempo, o que pode acarretar alteração do ponto de equilíbrio desses custos. Por exemplo, uma ordem de redução dos estoques a fim de liberar capital de giro para outras finalidades pode ser interpretada pelo gestor de estoques como um aumento dos custos do capital imobilizado no estoque, mudando o equilíbrio dos custos para um novo ponto, que, geralmente, leva a uma redução dos lotes e maior frequência de reposição. Uma estratégia de melhoria no atendimento de pedidos deve ser traduzida em maiores custos de falta, podendo resultar em aumento das quantidades estocadas ou alteração do modelo de reposição. A frequência de reposição pode ser também influenciada pela obsolescência, perda de validade ou valor de mercado do material estocado. O gestor de estoques, em todos esses casos, deve buscar o menor custo total de operação do sistema no novo ponto de equilíbrio, mantendo o alinhamento com as estratégias e táticas.

A gestão, contudo, não opera rotineiramente com custos, mas sim com as quantidades e prazos (quando e quanto). Nas últimas décadas, a estratégia de gestão de estoques mais utilizada tem sido baseada na idéia de estoque zero, popularizada pelo grande sucesso obtido pela Toyota com seu método de produção enxuta de automóveis. Batizada como “*Just-in-Time*” pelo seu criador Taichi Ohno, seu conceito básico é a chegada dos itens ao ponto de uso no instante e na quantidade exatos em que são demandados, numa sincronia perfeita entre suprimento e demanda. É fácil ver que, nesse caso, não há necessidade de estoque, pois os dois fluxos, anterior e posterior ao ponto de estoque, são iguais. A frequência de reposição, contudo, torna-se alta, o que pode elevar muito o custo de operação caso os custos de pedidos sejam altos.

A utilização do estoque médio, medido em quantidade ou em valor médio dos itens, geralmente é o ponto de partida para avaliação da gestão de estoques. Quanto menor o estoque médio, menor o capital investido no estoque. Como medida de desempenho da gestão, no entanto, não é satisfatória, pois não considera os diferentes níveis de demanda dos itens. Um estoque médio de 150 unidades, por exemplo, pode ser excessivo para uma demanda estável de 50 unidades/mês, mas insuficiente para um nível de demanda de 600 unidades/mês. Por isso, os indicadores de desempenho mais utilizados na gestão de estoques estão ligados ao fluxo dos materiais que entram e saem do estoque.

O indicador **cobertura de estoque** é uma medida do tempo médio de duração do estoque, caso não houvesse novas reposições de estoque. A cobertura de estoque é calculada da seguinte forma:

$$\text{Cobertura de Estoque} = \frac{\text{Estoque Médio do período}}{\text{Demanda Média do período}}$$

Outro indicador muito utilizado é o **giro de estoque**, uma medida do fluxo de itens que passam pelo estoque, também tendo como base o estoque médio:

$$\text{Giro de Estoque} = \frac{\text{Demanda do período}}{\text{Estoque médio do período}}$$

### Exemplo 5.2. Indicadores de estoques

Considere um produto com demanda estável ao longo do ano em torno de 1.200 unidades. Se o estoque médio no período alcançou o valor de 200 unidades, tem-se:

$$\text{Giro de Estoque} = 6$$

e

$$\text{Cobertura} = 1/6 \text{ de ano ou } 2 \text{ meses.}$$

É fácil notar que o giro de estoque e a cobertura de estoque são duas visões da mesma grandeza, sendo uma o inverso da outra. Tanto o estoque médio como a demanda podem ser expressos em quantidade de itens ou em valores monetários, sendo estes últimos utilizados para avaliar os estoques de forma agregada, de grande utilidade para as áreas financeira e contábil. As medidas em quantidades, por outro lado, são mais úteis para o controle detalhado dos itens.

O desempenho da gestão de estoques, contudo, não pode ser medido exclusivamente a partir desses dois indicadores, pois estes não avaliam se a função do estoque, causa da sua existência, está sendo ou não cumprida. Isso pode ser verificado pelas equações dos próprios indicadores, em que uma grande eficiência pode ser obtida, por exemplo, pela redução dos lotes, com conseqüente redução dos estoques médios. Nesse caso, pode-se incorrer em um aumento significativo do risco de falta. Por isso, recomenda-se monitorar também o nível de atendimento da demanda (porcentagem de pedidos dos clientes atendidos diretamente do estoque, sem atraso) juntamente com os indicadores de giro e cobertura de estoque.

## 5.6 MODELOS DE REPOSIÇÃO

Modelos de reposição de estoque estabelecem regras que permitem decidir quando e quanto repor o estoque de um item. Devido à grande influência da demanda na dinâmica dos estoques, cada padrão da demanda geralmente está associado a um tipo de modelo de reposição mais adequado para operação. Portanto, a seleção do modelo de reposição inicia-se pelo estudo da demanda.

Um primeiro aspecto a considerar diz respeito à existência ou não de correlação entre as demandas de diferentes itens. Nesta seção, discutem-se os modelos de reposição para itens com demanda independente, isto é, aqueles itens em que a demanda não está diretamente associada à demanda de nenhum outro item. Tal situação, presente nos sistemas de estoque puro, permite também que cada item seja avaliado individualmente, utilizando um modelo de reposição e parâmetros específicos conforme seu padrão de demanda e custos. Em adição, nesta seção serão considerados apenas os modelos de local único, ou seja, um único ponto de estocagem. Os problemas de gestão de estoques em múltiplos locais, típicos da logística de distribuição dos produtos, são abordados no Capítulo 10.

Para itens com demanda dependente, a decisão de reposição deve levar em consideração os itens que apresentam demandas estatisticamente correlacionadas. Essa situação ocorre, por exemplo, na administração de materiais na manufatura, em que a demanda de matérias-primas e componentes está associada às necessidades brutas de produtos acabados. Nesse caso, o modelo MRP, tema do Capítulo 7, constitui uma ferramenta melhor para gestão dos estoques.

Entre os modelos de estoque para itens com demanda independente em local único, diferenciam-se os que utilizam e os que não utilizam previsão de demanda em cada decisão de reposição. Os modelos do segundo grupo, em geral denominados modelos reativos, são mais adequados para itens cuja demanda é estacionária ao longo do tempo. Nesses casos, as decisões se baseiam em parâmetros predefinidos do modelo e no nível de estoques no momento da emissão do pedido de reposição.

Esses modelos, portanto, não antecipam o comportamento da demanda (e não precisam antecipar, pois ela é estacionária), reagindo às variações desta na reposição dos níveis de estoque.

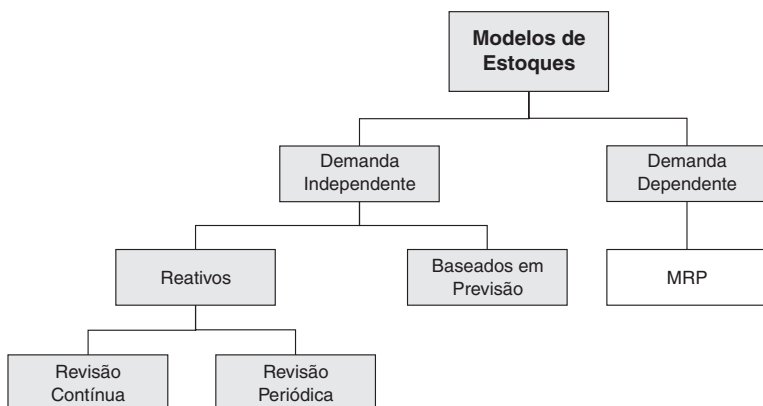
Nos casos de demanda com sazonalidade ou com tendências não estacionárias, modelos que utilizam previsões de demanda costumam ter melhor desempenho que os reativos, pela capacidade de antecipar as variações ou parte delas. Evidentemente, para obter as previsões de demanda, utilizam-se modelos de previsão semelhantes aos apresentados no capítulo anterior. Demandas extremamente concentradas, como as de ovos de Páscoa e árvores de Natal, por exemplo, podem ser vistas como casos especiais de sazonalidade, em que a capacidade de previsão de demanda afeta profundamente o desempenho do sistema de estoques.

Na classe dos modelos reativos, identificam-se dois tipos principais: os modelos de período fixo (revisão periódica) e os de quantidade fixa (revisão contínua). No primeiro caso, determinam-se períodos regulares de revisão dos estoques, e a quantidade comprada normalmente é aquela que repõe o estoque ao “nível cheio”. Esse nível máximo é um parâmetro do modelo e corresponde à demanda esperada até a próxima reposição, acrescida de uma margem de segurança para cobrir as incertezas da demanda e do tempo de resposta. Como a demanda é normalmente variável, neste modelo têm-se tempos fixos e quantidades variáveis conforme a demanda efetiva.

No caso dos modelos de revisão contínua, estabelece-se um nível mínimo de estoque que, quando atingido, dispara um pedido. Esse nível, denominado “ponto de pedido”, deve ser uma quantidade suficiente para cobrir a demanda durante o tempo de reposição, isto é, o tempo que o fornecedor demora, a partir do recebimento do pedido, até a efetiva entrega do lote. Como a demanda é geralmente variável, o intervalo entre pedidos será irregular (aperiódico). Em contrapartida, como as quantidades em estoque no momento da colocação dos pedidos está sempre em torno do ponto de pedido, é razoável que as quantidades compradas sejam quantidades fixas. Dessa forma, têm-se intervalos variáveis e quantidades fixas.

Para exemplificar melhor esses dois modelos reativos, podemos citar dois exemplos do cotidiano das pessoas de classe média, um deles seria a compra mensal em supermercados e o segundo o abastecimento de combustível do automóvel. No primeiro caso, os itens são repostos de forma similar à revisão periódica, com período de revisão mensal. Já o automóvel é normalmente abastecido por ponto de pedido, isto é, abastece-se o veículo quando o nível de combustível no tanque está “na reserva”.

Há ainda outros modelos de reposição reativos, em particular, aqueles destinados à reposição de estoques de itens com baixo giro ou demanda em pequenas quantidades. Nesta seção, abordam-se apenas os modelos principais. Silver *et al.* (1998) constitui uma ótima referência para os leitores interessados no assunto. A Figura 5.2 apresenta uma classificação dos modelos que resume a discussão anterior.



**Figura 5.2.** Uma classificação dos modelos de estoques.

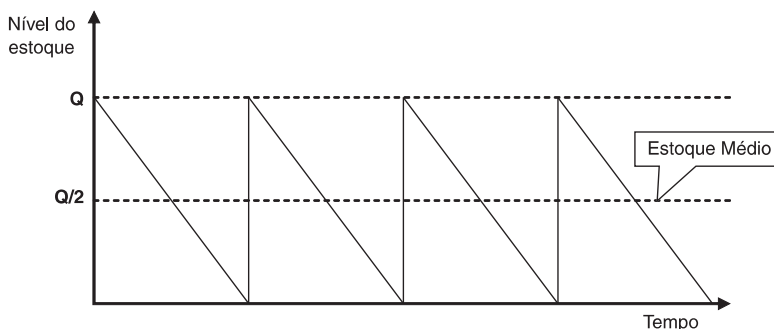
A seguir, são detalhados os modelos reativos tradicionais (local único), importantes pelo largo uso nas organizações e por serem didaticamente adequados para a compreensão dos problemas de controle e decisão enfrentados pela gestão rotineira de estoques. Inicia-se a discussão com o modelo clássico do lote econômico, que permite determinar o tamanho do lote que equilibra os custos de pedido e estocagem.

### 5.6.1 Lote econômico

O modelo do lote econômico foi originalmente concebido por Ford Harris, em 1913, nos primórdios da Engenharia de Produção. Muitas variantes do modelo básico surgiram desde então, procurando uma maior generalização de suas fórmulas, para incluir alguns casos de demanda e suprimentos variáveis. As premissas do modelo básico do lote econômico são as seguintes:

- um único item;
- demanda constante – a demanda é de valor determinado e constante pelo horizonte que se deseja;
- custos lineares – o custo de armazenagem varia proporcionalmente com a quantidade de itens estocados, e o custo de pedido é uma função linear da quantidade de pedidos feitos;
- capacidade de suprimento ilimitada – qualquer quantidade pode ser suprida para reposição do nível de estoque;
- tempo de espera (*lead time*) zero – o suprimento é feito instantaneamente, no ato da decisão de reposição.

A dinâmica do estoque diante das premissas enumeradas anteriormente pode ser vista na Figura 5.3.



**Figura 5.3.** Nível de estoque de um item com demanda estacionária e reposição instantânea por lotes de tamanho  $Q$ .

O cálculo do lote econômico fundamenta-se na minimização do custo total de operação. Genericamente, o custo total em um dado período (por exemplo, um ano) pode ser decomposto em três parcelas:

$$\text{Custo Total} = \text{Custo de Aquisição} + \text{Custo de Pedido} + \text{Custo de Armazenagem}$$

A primeira parcela corresponde ao desembolso referente à aquisição do produto. Caso o preço unitário de aquisição seja constante, isto é, independente do tamanho dos lotes, para uma dada demanda anual, essa parcela será fixa, ou seja, não será influente na decisão do tamanho do lote. Por outro lado, as parcelas referentes aos custos de pedido e de armazenagem estão diretamente ligadas ao tamanho do lote. Quanto maior o tamanho dos lotes, menor o número de pedidos e o correspondente custo de pedido no período. Já os custos de armazenagem, em geral calculados a partir do estoque médio, são tanto menores quanto menor o tamanho dos lotes (maior frequência de pedidos).

Na Figura 5.3, verifica-se que o Estoque Médio e Número Médio de Pedidos são dados por:

Estoque Médio =  $Q / 2$

Número Médio de Pedidos =  $D / Q$

onde:

$Q$  = tamanho do lote de compra e

$D$  = demanda total anual.

A partir dessas definições, o custo total pode ser expresso pela equação:

$$C_T = p \cdot D + c_p \cdot \frac{D}{Q} + c_A \cdot \frac{Q}{2}$$

onde:

$p$  – preço unitário,

$c_p$  – custo de pedido,

$c_A$  – custo de armazenagem.

O padrão da curva do custo total está apresentado na Figura 5.4. Determinar o valor ótimo de  $Q$  equivale, graficamente, a encontrar a ordenada do ponto mínimo da curva de custo total. Analiticamente, determina-se o mínimo da função custo total derivando a função custo total em relação à variável  $Q$  e igualando a zero o resultado, ou seja:

$$\frac{dC_T}{dQ} = -\frac{C_p \cdot D}{Q^2} + \frac{c_A}{2} = 0$$

que resulta em:

$$Q^* = QLE = \sqrt{\frac{2 \cdot c_p \cdot D}{c_A}} \quad (1)$$

Essa expressão é exatamente a clássica fórmula de Harris para cálculo da Quantidade do Lote Econômico (QLE).

Explorando um pouco mais a fórmula do lote econômico, verifica-se que quanto maior o custo de pedido, maior o tamanho do lote, isto é, menor a frequência de pedidos. Ao contrário, quanto maior o custo de armazenagem, menor o tamanho do lote, o que resulta em menor estoque médio. Interpretando de outra forma, a redução do custo de pedido deve ser vista como prioritária nos esforços da gestão para melhoria de sua eficiência, pois proporciona a redução dos lotes e, ao mesmo tempo, a redução do custo total. Teoricamente, essa é a forma de se reduzir as quantidades de reposição e estoque com redução também do custo de operação.

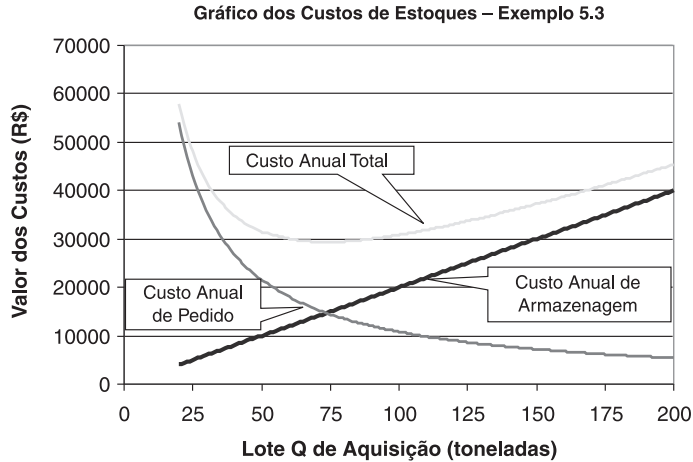
### Exemplo 5.3. Aplicação do modelo do lote econômico

Uma empresa compra seu suprimento de aço de um fornecedor tradicional, em um volume de 5.000 toneladas/ano. Seu custo de armazenagem por tonelada de aço em estoque por um ano é estimado em 20% do valor de aquisição, atualmente de R\$2.000,00/tonelada. Seu custo estimado de pedido é de R\$216,00/pedido. Quanto de aço deve ser pedido a cada compra, e qual deve ser a frequência dos pedidos?

A Figura 5.4 apresenta os custos de pedido, armazenagem e total para diferentes tamanhos de lote. Visualmente, verifica-se um ponto de mínimo custo total para lotes com quantidades em torno de 30 toneladas.

O tamanho do lote que minimiza o custo total pode ser calculado diretamente pela fórmula do lote econômico, como se segue:

$$QLE = \sqrt{\frac{2 \cdot 216 \cdot 5000}{0,2 \cdot 2000}} = 73,48t$$



**Figura 5.4.** Curvas de determinação do lote econômico de compra.

Com lotes de 73,48 t, a quantidade de pedidos no ano seria:

$$n_p = \frac{5000}{73,48} = 68,04$$

pedidos por ano, o que equivale a um pedido a cada 0,76 semana (52/68,04).

Como mostra a Figura 5.4, a curva do custo de operação é razoavelmente plana na região do valor de mínimo custo, ou seja, em torno do lote econômico. Portanto, pequenas variações nas quantidades terão pouca influência no custo total, o que favorece o uso do modelo mesmo com custos de pedido e de armazenagem imprecisos, devido à dificuldade de estimação.

Como a curva do custo total é pouco sensível ao tamanho dos lotes em torno do ponto ótimo, podem-se considerar lotes de tamanho um pouco diferentes, para melhor adequação do período de entregas. Na prática, devem-se considerar frequências de entrega regulares conforme o calendário, isto é, entregas diárias, duas vezes por semana, semanais, a cada duas semanas, mensais, bimestrais etc., sempre comparando os custos de cada alternativa.

O modelo do lote econômico mostrado para item único é extensível para problemas com múltiplos itens. Esse novo problema pode ser abordado e resolvido matematicamente por Programação Linear, com utilização dos softwares específicos (Solver, Lindo etc.) das planilhas para a solução do modelo. Nesses casos, limitações de capital e espaço físico de estocagem podem ser incluídas como restrições do modelo de otimização linear.

Outro derivado bastante comum do modelo do lote econômico é aquele criado pela variação do preço do item com a quantidade, em geral descontos no valor de aquisição para quantidades crescentes de aquisição. Nesse caso, deve-se verificar se o aumento de custos por operar com lotes maiores que o econômico não supera a economia decorrente da aquisição do item com desconto.

O modelo do lote econômico, como comentado, tem entre suas premissas a demanda constante e o tempo de espera nulo, o que raramente ocorre nos casos reais. Outros modelos, que permitem ajuste do nível de estoque diante de demanda variável e tempos de espera não nulos, foram criados para permitir um controle mais eficiente dos estoques. Em particular, apresentam-se nas seções subsequentes os dois modelos clássicos de reposição por ponto de pedido e reposição periódica.

### 5.6.2 Reposição por ponto de pedido

O modelo de Reposição por Ponto de Pedido (RPP), também conhecido como modelo de Reposição Contínua, é um modelo reativo tradicional, segundo o qual as decisões de reposição estão ba-



seadas nas quantidades em estoque após cada retirada. A Figura 5.5 ilustra a dinâmica dos estoques conforme o modelo.

A cada retirada de itens do estoque, o nível deste é comparado com um parâmetro, o ponto de pedido, aqui representado por  $R$  (de *Reorder point*). Quando o nível de estoque se iguala ou fica abaixo de  $R$ , uma reposição é ordenada. O tamanho do lote de reposição na figura é fixo, como geralmente ocorre nesse modelo. O lote ordenado chega após um tempo de espera (*lead time*), repondo o estoque ao nível maior.

Na Figura 5.5, fica clara a relação entre o ponto de pedido, a demanda e o tempo de espera. No primeiro ciclo, a demanda ocorre a uma taxa que faz coincidir a chegada do lote ordenado com o final dos itens em estoque. No segundo ciclo, com uma demanda menor, o lote ordenado é recebido antes de zerar o nível de estoque. O oposto ocorre no terceiro ciclo, em que uma demanda maior consome os itens em estoque e o lote ordenado chega tarde para atendê-la. O nível de estoque negativo desse ciclo pode ser entendido como a transformação dos itens faltantes em atrasos a serem liquidados na primeira oportunidade.

O modelo do ponto de pedido tem, portanto, dois parâmetros de operação:  $Q$  (tamanho do lote de reposição) e  $R$  (o ponto de pedido). O primeiro pode ser calculado pelo modelo do QLE, discutido na seção anterior. Já o ponto de pedido ( $R$ ) é uma quantidade que deve incluir:

$$R = \text{Demanda Média no Tempo de Espera} + \text{Estoque de Segurança}$$

O estoque de segurança para o ponto de pedido tem a finalidade de prevenir a falta de itens durante o tempo de espera, como a mostrada no terceiro ciclo, resultante da variação da demanda. Admitindo-se que o tempo de espera ou *lead time* seja constante e que as demandas diárias sejam variáveis normais e independentes, o ponto de pedido, incluindo o estoque de segurança, pode ser calculado pela expressão:

$$R = dL + z\sigma_d\sqrt{L} \quad (3)$$

onde:

$d$  é a demanda média diária

$\sigma_d$ , o desvio-padrão da demanda diária

$L$ , o tempo de espera em dias (constante, por hipótese)

O coeficiente  $z$  da fórmula está associado à distribuição normal de probabilidade. Dependendo do nível de cobertura que se deseja, isto é, a probabilidade de não ocorrer falta de produto até a efetiva reposição do estoque, determina-se o valor de  $z$ . Para uma cobertura de 90, 95 e 99%, por exemplo, os valores de  $z$  seriam 1,28, 1,64 e 2,33, respectivamente.

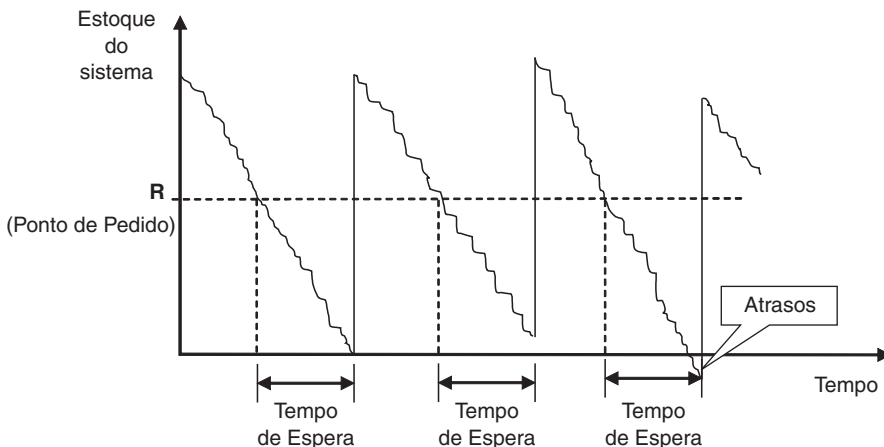


Figura 5.5. Variação do estoque em um modelo de ponto de pedido.

Há uma formulação alternativa (Silver *et al.*, 1998) que considera, além da incerteza da demanda, incerteza também no tempo de resposta. Quando se consideram todos os fatores presentes no problema real, torna-se muito difícil encontrar uma solução analítica satisfatória para dimensionar os dois parâmetros do modelo (tamanho do lote e o ponto de pedido). Em lugar de uma solução analítica, pode-se recorrer à simulação computacional para auxiliar na determinação dos parâmetros de operação do modelo. Um exemplo dessa abordagem, para o caso do modelo do ponto de pedido, é apresentado a seguir.

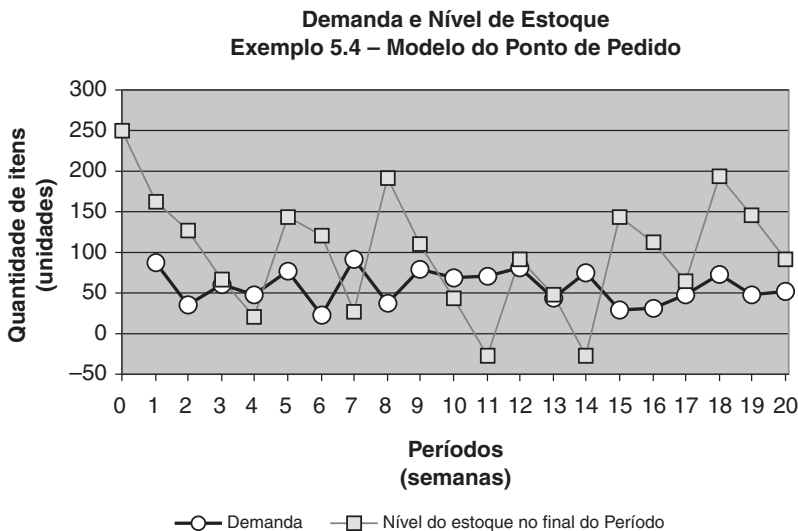
#### Exemplo 5.4. Simulação do modelo de reposição por ponto de pedido

A Tabela 5.2 apresenta os dados do problema, e a Tabela 5.3 mostra a simulação da dinâmica do estoque. No exemplo, as decisões de reposição estão concentradas nos finais dos períodos (no caso, finais das semanas), característica bastante comum nos sistemas de estoque. A Figura 5.6 dispõe graficamente os dados de demanda e estoque resultantes.

**Tabela 5.2.** Dados para aplicação do modelo de ponto de pedido do Exemplo 5.4

ESTOQUE INICIAL (UNIDADES)	PONTO DE PEDIDO (UNIDADES)	TEMPO DE ESPERA (SEMANAS)	TAMANHO DO LOTE (UNIDADES)
250	150	2	200

Iniciando as decisões no final da primeira semana, verifica-se que o nível do estoque é de 163 unidades, acima do ponto de pedido de 150 e, portanto, nenhuma reposição é ordenada. A primeira reposição só é ordenada ao final da semana 2, estando disponível para a demanda da semana 5. As decisões de reposição são tomadas comparando-se o estoque do sistema (estoque disponível mais o ordenado ainda não recebido) com o ponto de pedido.



**Figura 5.6.** Gráfico da série histórica da demanda e do nível de estoque – Exemplo 5.4.

As reposições se apresentam com frequência variando entre 3 e 4 semanas no intervalo apresentado, que é a forma como o modelo procura equilibrar o nível de estoque, reagindo à variação da demanda. As faltas, consideradas atrasos a repor na primeira oportunidade, estão indicadas como estoques negativos, como mostram as semanas 11 e 14.

**Tabela 5.3.** Dados de demanda e níveis de estoque – Exemplo 5.4

SEMANA	NÍVEL DO ESTOQUE FÍSICO (FINAL DA SEMANA ANTERIOR)	RECEBIMENTO DO LOTE DE REPOSIÇÃO (FINAL DA SEMANA ANTERIOR)	NÍVEL DO ESTOQUE FÍSICO APÓS RECEBIMENTO (INÍCIO DA SEMANA)	DEMANDA DA SEMANA (FINAL DA SEMANA)	DEMANDA ATENDIDA (ACUMULADA NO FINAL DA SEMANA)	NÍVEL DO ESTOQUE FÍSICO (FINAL DA SEMANA)	ESTOQUE DO SISTEMA ANTES DA DECISÃO DE REPOSIÇÃO	DECISÃO DE REPOSIÇÃO (FINAL DA SEMANA)	REPOSIÇÃO ORDENADA (FINAL DA SEMANA)	ESTOQUE DO SISTEMA (DISPONÍVEL + A RECEBER)
1	250	0	250	87	87	163	163	Não	0	163
2	163	0	163	36	36	127	<b>127</b>	<b>Sim</b>	200	327
3	127	0	127	60	60	67	267	Não	0	267
4	67	0	67	47	47	20	220	Não	0	220
5	20	200	220	77	77	143	<b>143</b>	<b>Sim</b>	200	343
6	143	0	143	23	23	120	320	Não	0	320
7	120	0	120	92	92	28	228	Não	0	228
8	28	200	228	37	37	191	191	Não	0	191
9	191	0	191	80	80	111	<b>111</b>	<b>Sim</b>	200	311
10	111	0	111	68	68	43	243	Não	0	243
11	43	0	43	70	43	<b>-27</b>	173	Não	0	173
12	<b>-27</b>	200	200-27	82	82+27	91	<b>91</b>	<b>Sim</b>	200	291
13	91	0	91	43	43	48	248	Não	0	248
14	48	0	48	75	48	<b>-27</b>	173	Não	0	173
15	<b>-27</b>	200	200-27	29	29+27	144	<b>144</b>	<b>Sim</b>	200	344
16	144	0	144	32	32	112	312	Não	0	312
17	112	0	112	47	47	65	265	Não	0	265
18	65	200	265	72	72	193	193	Não	0	193
19	193	0	193	48	48	145	<b>145</b>	<b>Sim</b>	200	345
20	145	0	145	53	53	92	292	Não	0	292

O modelo apresentado no Exemplo 5.4 pode ser implantado em planilha e, utilizando uma simulação com maior número de períodos, pode-se avaliar o efeito dos parâmetros, o tamanho do lote e o ponto de pedido nos custos e no nível de atendimento. Analisando diferentes cenários, pode-se determinar empiricamente a melhor condição de operação.

A execução do controle pelo ponto de pedido é normalmente feita por sistemas de processamento de dados que, alimentados com as movimentações do estoque, emitem automaticamente as ordens de compra ou fabricação. A liberação das ordens é então analisada pelo gestor, para eventuais ajustes e controle da quantidade de ordens abertas no sistema.

Em sistemas não informatizados, utilizam-se métodos visuais simples, oriundos das práticas anteriores à disseminação do uso do computador. O mais conhecido deles é o “método das duas gavetas”, em que o estoque é arranjado em duas partes. O atendimento da demanda é feito, inicialmente, com os itens da “primeira gaveta”. Ao término das unidades desta, passa-se a consumir os itens da “segunda gaveta”, que tem capacidade igual ao valor do ponto de pedido. Nesse esquema, as ordens de reposição são emitidas sempre que a primeira gaveta é esvaziada.

### 5.6.3 Reposição periódica

O modelo de reposição periódica consiste na reposição dos estoques em intervalos regulares. Verifica-se o nível do estoque no instante de revisão e ordena-se um lote com quantidade suficiente para repor o estoque ao nível máximo projetado. Em um ambiente de demanda variável, se os intervalos entre revisões são fixos, o tamanho dos lotes serão evidentemente variáveis. Os parâmetros do modelo e suas notações adotadas são:

Período de revisão – com a notação  $T$  de “Time”, e

Estoque máximo – com notação  $S$  de “Stock”.

Na Figura 5.7, o tempo de espera coincide, no primeiro ciclo, com o consumo do último item, indicando uma condição ideal entre período de revisão e a taxa de demanda:

$$T = (S - X) / \text{taxa de demanda}$$

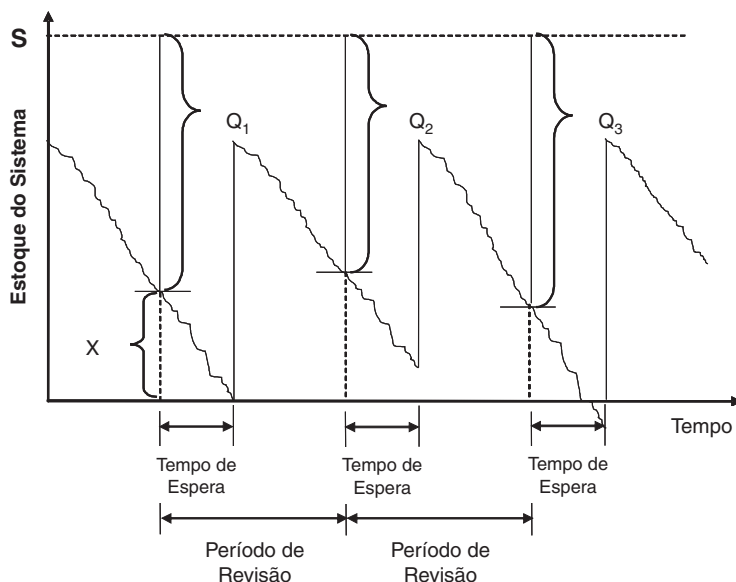


Figura 5.7. Variação do estoque no modelo de revisão periódica.

É fácil verificar que a grandeza  $S-X$  é igual ao tamanho do lote  $Q_1$ . Supondo que  $Q_1$  tenha seu tamanho calculado pela fórmula do lote econômico – QLE, obtém-se a fórmula básica para o valor ideal do período de revisão:

$$T = QLE / \text{taxa de demanda}$$

O valor de  $T$  adotado geralmente é arredondado para o número inteiro de períodos mais próximo do calculado. É interessante, também, que itens de um mesmo fornecedor tenham o mesmo período de revisão, para facilitar processos de compra, transporte e pagamentos. Nesses casos, costuma-se arredondar os valores de  $T$  de cada item na forma de  $2^k$  períodos ou semanas ( $k=0,1,2,\dots$ ), a fim de facilitar a agregação na aquisição.

Novamente, apresenta-se um exemplo de simulação da dinâmica do estoque, considerando-se agora a revisão periódica.

### Exemplo 5.5. Utilização do modelo de revisão periódica

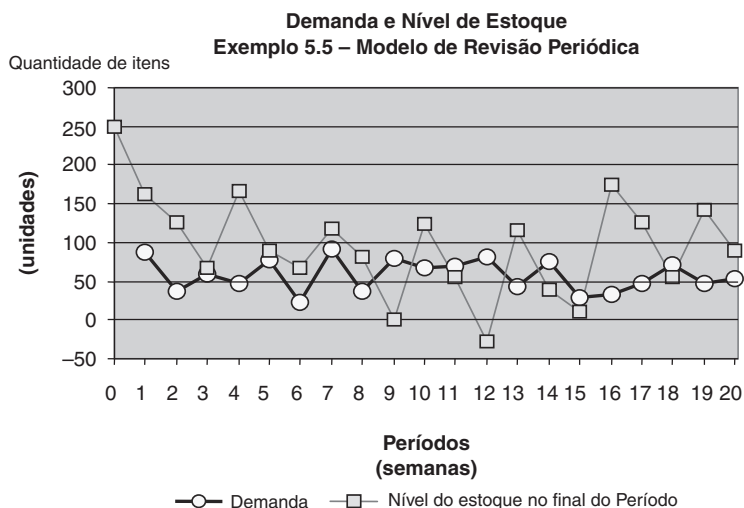
As Tabelas 5.4 e 5.5 apresentam os dados do item do Exemplo 5.5, agora gerido pelo modelo de revisão periódica. O período de revisão foi arredondado do cálculo do lote econômico  $200/58$ , em que 58 é a demanda semanal média do item. O estoque máximo foi projetado em 310 unidades, o que inclui o lote econômico e mais um estoque de segurança de 110 unidades, necessário para cobrir a variação de demanda do item entre reposições.

Iniciando as decisões no final da primeira semana, verifica-se que o nível do estoque é de 163 unidades, e, portanto, uma reposição de  $310 - 163 = 147$  unidades é ordenada. Essa reposição se efetiva somente ao final da semana 3, estando disponível para a demanda da semana 4.

O modelo mantém o estoque do sistema igual ou menor que o estoque máximo, como mostra a última coluna. O valor máximo de unidades não ultrapassa  $S = 310$ , chegando a esse valor quando a reposição é ordenada.

**Tabela 5.4.** Dados para aplicação do modelo de revisão periódica do Exemplo 5.5

ESTOQUE INICIAL (UNIDADES)	PERÍODO DE REVISÃO (SEMANAS)	TEMPO DE ESPERA (SEMANAS)	ESTOQUE MÁXIMO (UNIDADES)
250	3	2	310



**Figura 5.8.** Gráfico da demanda e do nível de estoque – Exemplo 3.5.

**Tabela 5.5.** Dados de demanda e níveis de estoque para o Exemplo 5.5

SEMANA	NÍVEL DO ESTOQUE FÍSICO (FINAL DA SEMANA ANTERIOR)	RECEBIMENTO DO LOTE DE REPOSIÇÃO (FINAL DA SEMANA ANTERIOR)	NÍVEL DO ESTOQUE FÍSICO APÓS RECEBIMENTO (INÍCIO DA SEMANA)	DEMANDA DA SEMANA (FINAL DA SEMANA)	DEMANDA ATENDIDA (ACUMULADA NO FINAL DA SEMANA)	NÍVEL DO ESTOQUE FÍSICO (FINAL DA SEMANA)	ESTOQUE DO SISTEMA ANTES DA DECISÃO DE REPOSIÇÃO	DECISÃO DE REPOSIÇÃO (FINAL DA SEMANA)	REPOSIÇÃO ORDENADA (FINAL DA SEMANA)	ESTOQUE DO SISTEMA (DISPONÍVEL + A RECEBER)
1	250	0	250	87	87	163	163	Sim	147	310
2	163	0	163	36	36	127	274	Não	0	274
3	127	0	127	60	60	67	214	Não	0	214
4	67	147	214	47	47	167	167	Sim	143	310
5	167	0	167	77	77	90	233	Não	0	233
6	90	0	90	23	23	67	210	Não	0	210
7	67	143	210	92	92	118	118	Sim	192	310
8	118	0	118	37	37	81	273	Não	0	273
9	81	0	81	80	80	1	193	Não	0	193
10	1	192	193	68	68	125	125	Sim	185	310
11	125	0	125	70	70	55	240	Não	0	240
12	55	0	55	82	55	-27	158	Não	0	158
13	-27	185	185-27	43	43+27	115	115	Sim	195	310
14	115	0	115	75	48	40	235	Não	0	235
15	40	0	40	29	56	11	206	Não	0	206
16	11	195	206	32	32	174	174	Sim	136	310
17	174	0	174	47	47	127	263	Não	0	263
18	127	0	127	72	72	55	191	Não	0	191
19	55	136	191	48	48	143	143	Sim	167	310
20	143	0	143	53	53	90	257	Não	0	257

Devido à variação da demanda, o lote ordenado varia em quantidade. O exemplo também apresenta a ocorrência de falta, como no exemplo anterior, agora na semana 12. Esta, analogamente, é transformada em atraso, sendo as 27 unidades “pagas” pelo estoque na semana seguinte, com a chegada do lote ordenado na semana 10.

O controle pelo método de revisão periódica requer a atualização dos níveis de estoque físico e das ordens em processamento na data de decisão, ao final do período de revisão. Isso pode ser feito por sistema informatizado que, à semelhança do modelo de ponto de pedido, controle as movimentações de estoque e, no momento apropriado, emita as ordens de compra ou produção. O controle manual, contudo, é mais difícil, exigindo o registro manual das movimentações ou a contagem física dos itens para emissão das ordens de reposição.

Comparando-se os Exemplos 5.4 e 5.5 apresentados, algumas considerações podem ser feitas. Pode-se afirmar, de forma geral, que o modelo de reposição periódica fixa o período entre as reposições, permitindo a variação da quantidade de reposição, enquanto o modelo do ponto de pedido varia o período entre as reposições, fixando a quantidade de reposição. Isso é evidenciado pelas duas últimas colunas das Tabelas 5.3 e 5.5, nas quais ora os lotes de reposição são constantes, ora as quantidades de estoque do sistema são igualadas, nas datas de revisão.

Outra importante observação é quanto ao comportamento dos modelos diante de alterações do padrão de demanda. Caso ocorra um aumento repentino da demanda, o modelo de ponto de pedido provoca um aumento na frequência de reposições; na reposição periódica, deve ocorrer um aumento da incidência de faltas (ruptura ou quebra do estoque). Por outro lado, uma queda da demanda implica uma redução da frequência de pedidos no primeiro caso e uma redução do tamanho dos lotes no segundo caso. Evidentemente, essas condições de operação são corrigidas pela revisão dos parâmetros do modelo em uso.

Essas características conduzem à recomendação de uso de cada modelo. Assim, quando o item apresenta maior importância (itens A da curva ABC), um controle mais detalhado e frequente recomenda o uso do modelo de ponto de pedido, pela revisão constante dos estoques. Já nos casos de itens de menor valor agregado e grande número de itens diferentes de um mesmo fornecedor (caso típico de itens C), a revisão periódica é mais recomendada.

#### 5.6.4 Modelo do estoque base

Outro modelo tradicional muito utilizado atualmente é o estoque base. Trata-se de um caso particular do modelo de ponto de pedido e também do modelo de revisão periódica, pois seu parâmetro, o estoque base, funciona como uma quantidade máxima a ser mantida no sistema (como o estoque máximo  $S$  do modelo de revisão periódica), sendo contínua a revisão do estoque (como no modelo de ponto de pedido).

##### Exemplo 5.6. Simulação do modelo de estoque base

A primeira observação que pode ser feita para esse modelo refere-se ao estoque existente no sistema (última coluna da tabela), que engloba o estoque físico existente (incluindo os atrasos) e as ordens de reposição já colocadas. O valor 220 do exemplo mostra que esse modelo mantém constante a quantidade do sistema de estoque, pela reposição da quantidade demandada logo após sua saída. Isto é consequência de o ponto de pedido ser igual ao estoque máximo/base, que também acarreta uma grande quantidade de ordens (no exemplo, 20 ordens de reposição, contra 6 e 7 ordens dos modelos de ponto de pedido e revisão periódica, respectivamente).

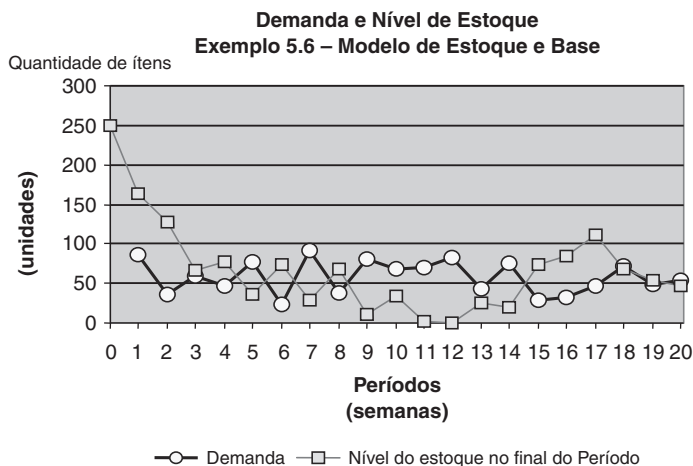
**Tabela 5.6.** Dados para aplicação do modelo de estoque base do Exemplo 5.6

PERÍODO DE REVISÃO (SEMANAS)	TEMPO DE ESPERA (SEMANAS)	ESTOQUE INICIAL (UNIDADES)	PONTO DE PEDIDO (UNIDADES)	ESTOQUE BASE (UNIDADES)
Contínua	2	250	Estoque Base - 1	220

**Tabela 5.7.** Dados de demanda e níveis de estoque – Exemplo 5.6

SEMANA	NÍVEL DO ESTOQUE FÍSICO (FINAL DA SEMANA ANTERIOR)	RECEBIMENTO DO LOTE DE REPOSIÇÃO (FINAL DA SEMANA ANTERIOR)	NÍVEL DO ESTOQUE FÍSICO APÓS RECEBIMENTO (INÍCIO DA SEMANA)	DEMANDA DA SEMANA (FINAL DA SEMANA)	DEMANDA ATENDIDA (ACUMULADA NO FINAL DA SEMANA)	NÍVEL DO ESTOQUE FÍSICO (FINAL DA SEMANA)	ESTOQUE DO SISTEMA ANTES DA DECISÃO DE REPOSIÇÃO	DECISÃO DE REPOSIÇÃO (FINAL DA SEMANA)	REPOSIÇÃO ORDENADA (FINAL DA SEMANA)	ESTOQUE DO SISTEMA (DISPONÍVEL + A RECEBER)
1	250	0	250	87	87	163	163	Sim	57	220
2	163	0	163	36	36	127	184	Sim	36	220
3	127	0	127	60	60	67	160	Sim	60	220
4	67	57	124	47	47	77	173	Sim	47	220
5	77	36	113	77	77	36	143	Sim	77	220
6	36	60	96	23	23	73	197	Sim	23	220
7	73	47	120	92	92	28	128	Sim	92	220
8	28	77	105	37	37	68	183	Sim	37	220
9	68	23	91	80	80	11	140	Sim	80	220
10	11	92	103	68	68	35	152	Sim	68	220
11	35	37	72	70	70	2	150	Sim	70	220
12	2	80	82	82	82	0	138	Sim	82	220
13	0	68	68	43	43	25	177	Sim	43	220
14	25	70	95	75	75	20	145	Sim	75	220
15	20	82	102	29	29	73	191	Sim	29	220
16	73	43	116	32	32	84	188	Sim	32	220
17	84	75	159	47	47	112	173	Sim	47	220
18	112	29	141	72	72	69	148	Sim	72	220
19	69	32	101	48	48	53	172	Sim	48	220
20	53	47	100	53	53	47	167	Sim	53	220





**Figura 5.9.** Variação dos estoques no modelo estoque base.

Essas características têm dirigido a aplicação do modelo de estoque base para produtos de alto valor e demanda reduzida (algumas unidades), como, por exemplo, automóveis, jóias e relógios, algumas peças de reposição na indústria aeronáutica etc. Pode-se também considerar que o modelo *kanban* de controle de estoques no chão de fábrica (produção puxada) opera de forma análoga ao modelo estoque base.

Muitos outros modelos de estoque compõem o universo atual disponível na literatura. Uma seleção dos mais interessantes pode ser encontrada em Silver *et al.* (1998) e nas outras referências apresentadas neste capítulo.

### 5.6.5 Reposição de estoque com previsão de demanda

Os modelos de estoque apresentados até aqui sempre baseiam suas decisões de reposição no estado corrente de algumas das variáveis e em parâmetros fixos predeterminados, como mostram os exemplos utilizados. Como já dito anteriormente, esses modelos “reagem” à demanda, conforme o estado corrente do sistema no instante da decisão, sendo, por isso, denominados “reativos”.

Uma forma de melhoria possível na eficiência do sistema de estoque é a utilização de previsões de demanda no cálculo do tamanho dos lotes de reposição. O modelo de revisão periódica pode ser utilizado com previsões de demanda, obtidas a partir de modelos de previsão, como visto no Capítulo 4. Nesse caso, o tamanho do lote de reposição consiste na necessidade líquida para o próximo período, sendo calculado em função do nível de estoque e da demanda prevista até a próxima reposição, acrescida de uma margem (estoque) de segurança, conforme apresentado a seguir.

$$\text{Tamanho do lote} = \text{Previsão de Demanda em } (T+L) + \text{Estoque de Segurança} - \text{Estoque atual}$$

A previsão de demanda deve considerar um período total igual ao período de revisão ( $T$ ) somado ao tempo de resposta ou *lead time* ( $L$ ). Esse período total, denominado tempo de reação, é o intervalo de tempo que decorre para atualizar novamente o estoque após uma decisão de reposição tomada.

O **estoque de segurança** também deve ser calculado de forma distinta dos casos anteriores. Nos modelos reativos, sua função principal é prevenir a falta de itens devido às variações totais de demanda. Quando previsões são utilizadas, porém, a parte previsível da variação de demanda está incluída na previsão, cabendo ao estoque de segurança cobrir apenas os erros de previsão.

**Exemplo 5.7.** Simulação do modelo de reposição periódica com previsão de demanda

**Tabela 5.8.** Dados para aplicação do modelo de estoque base do Exemplo 5.7

PERÍODO DE REVISÃO (SEMANAS)	TEMPO DE ESPERA (SEMANAS)	ESTOQUE INICIAL (UNIDADES)	ESTOQUE DE SEGURANÇA (UNIDADES)
3	2	250	19

**Tabela 5.9.** Dados de demanda e níveis de estoque – Exemplo 5.7

SEMANA	PREVISÃO DE DEMANDA NO TEMPO DE REAÇÃO (5 PERÍODOS)	NÍVEL DO ESTOQUE FÍSICO (FINAL DA SEMANA ANTERIOR)	RECEBIMENTO DO LOTE DE REPOSIÇÃO (FINAL DA SEMANA ANTERIOR)	NÍVEL DO ESTOQUE FÍSICO APÓS RECEBIMENTO (INÍCIO DA SEMANA)	DEMANDA DA SEMANA (FINAL DA SEMANA)	DEMANDA ATENDIDA (ACUMULADA NO FINAL DA SEMANA)	NÍVEL DO ESTOQUE FÍSICO (FINAL DA SEMANA)	ESTOQUE DO SISTEMA ANTES DA DECISÃO DE REPOSIÇÃO	DECISÃO DE REPOSIÇÃO (FINAL DA SEMANA)	REPOSIÇÃO ORDENADA (FINAL DA SEMANA)	ESTOQUE DO SISTEMA (DISPONÍVEL + A RECEBER)
1	309	250		250	87	87	163	163	Sim	165	328
2		163		163	36	36	127	292			292
3		127		127	60	60	67	232			232
4	300	67	165	232	47	47	185	185	Sim	134	319
5		185		185	77	77	108	242			242
6		108		108	23	23	85	219			219
7	291	85	134	219	92	92	127	127	Sim	183	310
8		127		127	37	37	90	273			273
9		90		90	80	80	10	193			193
10	282	10	183	193	68	68	125	125	Sim	176	301
11		125		125	70	70	55	231			231
12		55		55	82	55	-27	149			149
13	273	-27	176	149	43	43+27	106	106	Sim	186	292
14		106		106	75	75	31	217			217
15		31		31	29	29	2	188			188
16	264	2	186	188	32	32	156	156	Sim	127	283
17		156		156	47	47	109	236			236
18		109		109	72	72	37	164			164
19	256	37	127	164	48	48	116	116	Sim	159	275
20		116		116	53	53	63	222			222

As Tabelas 5.8 e 5.9 apresentam os parâmetros e a simulação do mesmo item de estoque utilizado nos exemplos anteriores. As previsões foram feitas com base no modelo de suavização exponencial simples, apresentado no Capítulo 4. O valor apresentado a cada período é o total acumulado das previsões de cinco períodos adiante, que é o tempo de reação resultante de um tempo de espera de dois períodos e um período de revisão de três. O estoque de segurança de 19 unidades foi estabelecido para manter um nível de atendimento semelhante ao Exemplo 5.5 do modelo reativo de revisão periódica.

É importante notar que o estoque do sistema (última coluna) não volta a um nível máximo como no modelo de revisão periódica reativo, sendo repostado em níveis decrescentes conforme as previsões.

Devido à necessidade de um sistema de previsão de demanda, o modelo apresentado é pouco utilizado nas empresas para a gestão de estoques, embora seja, quase sempre, mais eficiente que o reativo, exigindo menores estoques médios para alcançar um dado do nível de atendimento.

## 5.7 SISTEMAS DE CONTROLE

A gestão de estoques requer constante disponibilidade de informações sobre o andamento das decisões e dos níveis de estoque, em quantidade e valor. A obtenção e atualização dos dados necessários, além da transformação destes em informação útil, são os objetivos dos sistemas de controle de estoques.

Uma grande quantidade de sistemas está disponível para os gestores de estoques, com diferentes níveis de sofisticação e funcionalidades. Isso leva ao problema de como selecionar o sistema mais adequado para cada situação.

Estoques de dimensões reduzidas, típicos do pequeno comércio varejista ou de setores de apoio das empresas (como materiais de escritório e materiais de segurança individual, por exemplo), podem utilizar controles físicos (como o controle de duas gavetas, já comentado) ou controles montados em planilhas eletrônicas, como as do Excel, em que os dados de dezenas de itens podem ser facilmente acompanhados e atualizados sem grande dificuldade. São comercializados, também, diversos softwares de aplicação simples e baixo custo, que podem atender essas aplicações de forma eficiente e econômica.

Para estoques de maior porte, em que centenas ou milhares de itens devem ser controlados, o problema de atualização dos dados torna-se fundamental para a eficiência da gestão. A solução habitual é pela seleção de sistemas de porte, que permitem a rápida atualização das transações e auxiliam na emissão de ordens, tendo interfaces com outros sistemas da empresa para troca de informações. A entrada de dados passa a ser feita durante as transações, com utilização de códigos de barras e tecnologia de radiofrequência (RFID) permitindo maior controle dos estoques.

Estoques na manufatura requerem ferramentas integradas de gestão, em que dados, decisões e informações são compartilhados por várias áreas da empresa. Tais sistemas, conhecidos como *Enterprise Requirements Planning* (ERP), abordados no Capítulo 11, possuem módulos específicos de controle de estoques, com diversos modelos de reposição e permitindo utilização de previsões.

Seja qual for o sistema adotado, o controle eficiente necessita de perfeita compatibilidade entre os dados registrados no sistema e os níveis físicos disponíveis no estoque. Auditorias e inventários físicos regulares são necessários para a compatibilização entre os registros e as quantidades efetivamente existentes.

Em qualquer caso, cabe ao gestor a seleção do modelo mais adequado ao problema de estoques existente. Comprar ou produzir internamente o sistema de controle, integrar completa ou parcialmente o sistema aos demais sistemas da empresa e disponibilidade de modelos de reposição para gestão eficiente são questões que devem ser consideradas na seleção.

Independentemente do porte e tipo de sistema adotado, do mais simples ao mais completo e integrado, será necessário o ajuste dos parâmetros de estoque para cada item. A falha em se proceder a esses ajustes é responsável por grande parte da ineficiência da gestão. Em especial, destaca-se o potencial do uso da simulação computacional para calibração e escolha de modelos de estoque mais adequados, proporcionando reduções de custos na operação dos sistemas (Freire, 2007).

## 5.8 REVISÃO DOS CONCEITOS

Estoques estão presentes nas mais diferentes formas de atividade econômica para adequar a disponibilidade de materiais em quantidade e tempo às necessidades dos seres humanos. Por ser um tópico tradicional e importante da Engenharia de Produção, há uma vasta gama de conceitos e modelos, tendo sido tratada aqui apenas uma pequena, mas fundamental, parte.

Este capítulo tratou do estudo de sistemas de estoque puro (nos quais não ocorre transformação do produto) em local único, com destaque para os modelos de reposição reativos tradicionais e suas lógicas. Esses conhecimentos contribuem para a compreensão dos próximos capítulos, em que os sistemas de produção e estoques são tratados, e a utilidade dos estoques, reafirmada.

Os objetivos e as decisões associados à gestão de estoques são apresentados e podem ser resumidos em: atingir o nível de atendimento desejado da demanda com o mínimo custo de estoque, medido indiretamente pelo giro ou pela cobertura de estoque. Três ações básicas devem nortear o gestor nessa tarefa:

- redução de estoques pela redução da incerteza da demanda – através da coordenação entre os clientes e a produção, sincronizando o fluxo entre ambos e criando um ambiente de confiança que reduz a variação não previsível da demanda;
- redução de estoques pela melhoria da qualidade e produtividade dos processos – reduzindo a necessidade de quantidades em estoque para cobertura das rejeições de lotes e refugos, para suprimento durante preparações de produção demoradas, geradoras de lotes econômicos maiores e de respostas lentas às mudanças na demanda;
- redução de estoques pela redução do custo de pedido – coordenando, na outra ponta do sistema de produção, a relação com os fornecedores, reduzindo os tempos de espera e suas variações, as necessidades de transportes urgentes e evitando duplicação de estoques pela falta de sincronia nos fluxos de abastecimento.

São os modelos de estoque que permitem a reposição de seus níveis de diferentes formas e eficiências para cada ambiente de custos e incertezas de demanda e suprimento. A correta seleção dos modelos é a base sobre a qual a boa gestão deve se apoiar para atingir os objetivos da empresa.

Para um maior aprofundamento no tema gestão de estoques, o leitor encontrará uma vasta bibliografia, incluindo aqui publicações e recursos didáticos disponíveis na Internet. Em adição, recomenda-se a consulta das referências listadas ao final deste livro, sendo algumas, embora antigas, bastante atuais e conceitualmente importantes para a compreensão do tema.

## PALAVRAS-CHAVE

Estoque (*inventory*)  
 Sistemas de estoque (*inventory systems*)  
 Políticas de estoque (*inventory policies*)  
 Estoque base (*base stock*)  
 Lote econômico (*economic lot quantity, economic lot-size*)  
 Modelos de estoque (*inventory models, stock models*)  
 Reposição (*replenish, reorder*)  
 Ponto de pedido (*reorder point, reorder level, order level*)  
 Revisão periódica (*periodic review*)

## 5.9 EXERCÍCIOS

1. Por que as empresas necessitam de estoques?
2. Quais os custos de manutenção de estoques? Como esses custos afetam a decisão de reposição dos estoques?
3. Como avaliar a qualidade da gestão de estoques em uma empresa de manufatura?
4. O que as empresas de manufatura podem fazer para reduzir seus níveis de estoque sem prejuízo do nível de serviço?
5. Explique o conceito de lote econômico. Como é calculado na prática?
6. Quais são os fatores importantes na determinação do tamanho do lote e do ponto de pedido no modelo revisão contínua?
7. Quais são os fatores importantes na determinação do período de revisão e do estoque máximo no modelo revisão periódica?
8. Compare os modelos revisão contínua e revisão periódica. Quais as vantagens e desvantagens de cada um?
9. Como se determina o nível de estoque no modelo estoque base?
10. Quais cuidados devem ser tomados na utilização de modelos reativos de estoque no ambiente da manufatura?
11. Qual a finalidade da análise de Pareto? Quais as limitações dessa análise na manufatura?
12. Considerem-se os seguintes dados para um item comprado regularmente: demanda anual,  $D=10.000$  un.; custo de pedido,  $c_p=\$25$  por ordem; custo de armazenagem,  $c_A=\$10$  por un. por ano. Pede-se:
  - a) o lote econômico, a quantidade de pedidos no ano e custo anual total;
  - b) refaça os cálculos do item (a) para um custo de pedido  $c_p=\$20$ ;
  - c) idem, para um custo de armazenagem  $c_A=\$15$ ;
  - d) compare os resultados obtidos.
13. Um fabricante consome 6.000 un. de um item por ano. O preço de compra está cotado em R\$2,00 por un. para quantidades abaixo de 1.000; R\$1,90 para quantidades entre 1.000 e 1.999; e R\$1,86 para quantidade acima de 2.000 unidades. Supondo custo de pedido igual a R\$20,00 por ordem e custo de oportunidade de 16% a.a., determine o valor do lote econômico do item.
14. A demanda semanal de um produto apresenta distribuição normal estacionária com média igual a 800 e desvio-padrão de 150. Se o *lead time* do fornecedor é de uma semana, qual deve ser o estoque de segurança para que ocorra falta de estoque (*stockout*) em apenas 15% das vezes? Idem para 5 e 1%.

# Planejamento Agregado e Planejamento Mestre da Produção

LEONARDO LUSTOSA

LUIZ CESAR NANJI

## ■ OBJETIVOS DE APRENDIZADO

Este capítulo discute a importância do planejamento agregado no planejamento de longo prazo da corporação. É apresentada a elaboração de um plano agregado usando diferentes estratégias através de métodos intuitivos e matemáticos, considerando restrições de diversas naturezas. São explicadas as entradas, saídas e os procedimentos de cálculo do MPS.

## 6.1 INTRODUÇÃO

No Capítulo 2, vimos que o planejamento hierárquico é desenvolvido em níveis, entre os quais normalmente se consideram o **estratégico**, o **tático** e o **operacional**. Cada nível orienta e restringe, sucessivamente, o planejamento do nível imediatamente inferior. Planejar significa antecipar decisões sobre as ações a serem tomadas para se obter um resultado futuro desejado. Isso envolve estabelecer de onde se parte, projetar as condições futuras fora do nosso controle e imaginar um conjunto coerente de ações que possam nos conduzir a esse futuro desejado. É claro que, assim como em nossas vidas pessoais, não podemos imaginar que uma empresa possa fazer tudo isso ao mesmo tempo. Seja pela impossibilidade, ou pelo alto custo de se obter todas as informações necessárias, devido à complexidade e ao porte que o problema apresentaria, ou porque cada ação envolvida nesse planejamento requer uma antecipação diferente e, conseqüentemente, nem todas as ações precisam ser decididas ao mesmo tempo. Por isso, o planejamento é feito em níveis ou etapas de acordo com as necessidades de antecipação e informações de que se dispõe.

Um bom planejamento não é o que antecipa tudo, mas o que antecipa **apenas** tudo o que é necessário ser antecipado. O grifo indica que o bom planejamento não apenas providencia tudo que é de fato necessário, mas sem obscurecer as decisões com coisas irrelevantes para as decisões a serem tomadas no instante considerado, focando, apenas, no essencial; resumindo: a parcimônia é uma virtude no planejamento. Para que o planejamento seja parcimonioso, útil e de complexidade tratável, é necessário decompô-lo. Em geral, uma decomposição é feita em função da antecedência necessária para que as ações surtam seus efeitos nas ocasiões desejadas e das pessoas responsáveis e conhecedoras do problema. Outra decomposição é feita de acordo com a abrangência das decisões.

O reconhecimento dos níveis gerenciais favorece essas duas linhas de decomposição porque quanto mais alto o nível gerencial, mais abrangentes, menos detalhadas são as decisões; quanto maior a antecipação necessária, menos detalhadas e precisas são as informações necessárias. À medida que se caminha para os níveis mais baixos, as decisões se tornam mais localizadas (isto é, afetam mais algumas áreas gerenciais e menos outras), mais detalhadas (tratam mais profundamente e de forma mais particular as ações envolvidas) e requerem uma antecedência menor. Não menos importante é o fato de os problemas de decisão serem crescentemente mais estruturados à medida que se desce no

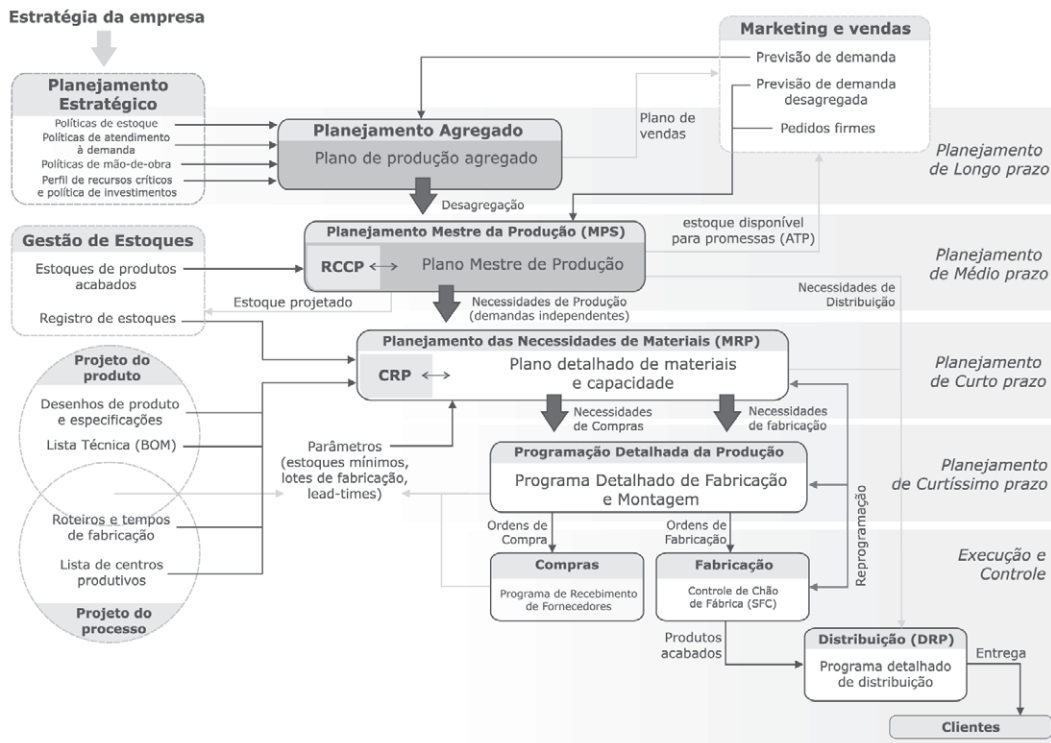


Figura 6.1. Visão geral do PCP: o planejamento agregado e o MPS no contexto do Planejamento e Controle da Produção.

nível gerencial. Por estruturação do problema se entende o grau de clareza dos objetivos e das restrições do problema.

## 6.2 O PLANEJAMENTO HIERÁRQUICO DE PRODUÇÃO

### Exemplo 6.1

Suponhamos que no planejamento estratégico de uma fábrica de motos definimos um plano de expansão tal que, dentro de três anos, nos permita fabricar até 7.000 motocicletas por dia. Nesse planejamento estratégico não foram definidos, de forma precisa, quantos empregados, quantos turnos deveremos ter, que materiais e que quantidades deveremos contratar em cada mês daqui a três anos. Deixamos essas decisões mais detalhadas e que exigem menos antecedência para decidir futuramente no nível tático.

Alguns motivos nos levaram a isso. Primeiro, não nos era possível imaginar com precisão suficiente qual seria a demanda em cada mês daqui a três anos. Segundo, não havia necessidade de decidir isso com tanta antecedência porque a contratação e o treinamento de pessoal (exceto o pessoal especializado de alto nível, cuja necessidade não depende muito da demanda) não precisam ser feitos com antecedência de anos, bastam meses. Terceiro, mesmo que fosse possível obter todos os dados necessários, se fôssemos levar em conta cada mês do **horizonte de planejamento** estratégico (normalmente cinco, ou mais anos) e todos os detalhes de instalações, pessoal, financeiros e outros, acabaríamos com um volume de informações e uma complexidade de planejamento impossível de se lidar.

Então, daqui a três anos, quando formos decidir quantos empregados, quantos turnos, os contratos de fornecimento e outros recursos de produção que queremos dispor em cada mês ao longo do quarto ano (fim do nosso horizonte de planejamento) teremos de levar em conta que (supondo que

o plano de expansão seja executado como planejado) disporemos de capacidade instalada para produzir até cerca de 7.000 motocicletas por dia. Assim, esse planejamento de nível tático, denominado **planejamento agregado**, feito para dimensionar os recursos mais detalhados e que exigem menos antecedência, deverá levar em conta essa limitação de capacidade. Similarmente, após fazer o planejamento agregado, teremos definido quanto de capacidade (agora incluindo a mão-de-obra, o número de turnos e os contratos de fornecimento) deveremos ter em cada mês do quarto ano. Em cada um dos primeiros meses do quarto ano, necessitaremos mais um nível de planejamento – a **programação mestre da produção** (*master production schedule* – MPS) – para determinar quanto de cada produto iremos produzir em cada semana.

Em cada mês do quarto ano, necessitaremos mais um nível de planejamento. Esse novo planejamento será necessário para determinar quanto de cada produto produziremos em cada semana desse quarto ano. No planejamento agregado, como o nome indica, consideram-se apenas os recursos comuns a todos os produtos, deixando de lado os insumos específicos de cada produto e planejando apenas em termos de meses. Isso porque, analogamente ao que ocorre no planejamento estratégico, ao se fazer o planejamento agregado não se sabe, com a precisão necessária, a demanda de cada produto que se terá em cada semana meses adiante; não há necessidade de decidir com tanta antecedência sobre os insumos peculiares a cada produto em cada semana (como, por exemplo, a cor, o modelo ou a configuração exata) e porque, mesmo que as informações fossem fáceis de ser obtidas, o problema de planejamento ficaria complexo e grande demais para ser tratável. Esse detalhamento será feito a partir da execução do MRP, que será abordado no Capítulo 7.

Neste capítulo, examinaremos o planejamento do nível tático que se segue ao planejamento estratégico. No planejamento tático supomos que a capacidade instalada, ou seja, a tecnologia de produção, as **competências** e outros recursos para produção que exigem grande antecedência já foram anteriormente providenciados e agora estão disponíveis, mas não podem ser muito ampliados ou reduzidos. Entretanto, existem ainda outros recursos necessários para a produção cuja obtenção exige menor antecedência. Por outro lado, nesse nível de planejamento, é possível ter uma idéia de como a demanda irá variar ao longo do horizonte de planejamento.

A continuação deste Capítulo é dividida em três seções. A primeira trata do planejamento agregado, que, levando em conta a capacidade instalada disponível como consequência do planejamento estratégico, busca garantir outros recursos de produção que exigem menos antecedência. A segunda trata da distribuição da capacidade disponível (resultante do planejamento agregado) entre os diversos produtos finais e sua distribuição em períodos de tempo menores do que o considerado no planejamento agregado. Essa distribuição é feita em função das expectativas de vendas e é normalmente denominada **desagregação**. O resultado da desagregação é um dado essencial para o nível intermediário entre o tático e o operacional, cujo primeiro passo é o **planejamento (ou programação) mestre da produção**, que faz a ligação entre este capítulo e o seguinte.

### 6.3 PLANEJAMENTO AGREGADO

O planejamento agregado é típico do nível tático. Nele se busca dimensionar outros recursos (como a mão-de-obra pouco especializada, contratos de fornecimento e materiais básicos) cuja obtenção exige menor antecedência do que a necessária para se conseguir os recursos que são objetos do planejamento estratégico, como novas instalações, equipamentos essenciais e básicos, competência em novas tecnologias, novas linhas de produtos e novas parcerias.

O propósito do planejamento agregado é garantir que os recursos básicos para a produção estarão disponíveis, em quantidades adequadas, quando for decidir sobre o quanto produzir de cada produto, antes mesmo que tal decisão seja tomada. É importante ter em mente que, como geralmente diversos produtos compartilham as mesmas instalações, equipamentos e mão-de-obra, para planejar esses recursos não é necessário saber quanto cada produto vai deles necessitar; basta saber o



que a **família de produtos** (i.e. conjunto de produtos que compartilham os mesmos recursos de produção) vai necessitar. Como ao se fazer o planejamento apenas uma estimativa da demanda é conhecida, aqui “quantidades adequadas” significa que se deseja providenciar uma capacidade tal que os custos de falta de capacidade (tais como perda de vendas e uso de mão-de-obra mais cara), caso a demanda seja maior do que a estimada e os custos de excesso de capacidade (essencialmente, custos de ociosidade dos recursos) sejam tais que o custo total esperado seja o menor possível.

Em algumas indústrias, especialmente as que fabricam *commodities*,<sup>1</sup> a estimativa da demanda é essencialmente uma **previsão de vendas** (para mais detalhes, vide Capítulo 2). Para outras indústrias em que as vendas dependem muito do esforço de *marketing* e vendas, a estimativa de vendas é essencialmente uma **meta de venda** estabelecida pela empresa com base nas informações de marketing e no esforço de vendas que a empresa planeja fazer.

Portanto, os dados de demanda que se consideram no planejamento agregado não são simples projeção da demanda passada; são metas de vendas, estas, sim, baseadas em dados históricos e no conhecimento do pessoal de marketing. Com relação à questão da demanda é interessante pensar no planejamento agregado como sendo uma tentativa de compatibilizar, período a período, geralmente, mês a mês, a demanda e a capacidade de forma a maximizar o lucro.

Algumas vezes é mais fácil tomar a demanda como dado e a ela ajustar a capacidade. As ações que procuram fazer isso são usualmente denominadas **alternativas reativas**. Em outros casos, é mais fácil lançar mão de **alternativas agressivas**, isto é, agir sobre a demanda para ajustá-la à capacidade disponível. É claro que, freqüentemente, é mais conveniente utilizar ambos os tipos de ações, ou seja, tentar mudar a demanda e a capacidade.

Alternativas agressivas são especialmente úteis quando não é possível variar a capacidade disponível e a demanda está muito sujeita a **variações sazonais**. Como exemplo podemos citar o caso de indústrias de serviços muito intensivas em capital, como as linhas aéreas. Uma companhia de linhas aéreas não pode, no médio ou curto prazo, ampliar ou reduzir substancialmente suas instalações e pessoal. Por isso, para melhor utilizar sua capacidade, ela tenta alterar a demanda com promoções e descontos na baixa estação.

Forte variação sazonal torna o planejamento agregado mais importante, pois uma vez decidida a capacidade instalada, é necessário ajustar a capacidade de médio prazo para fazer face à variação previsível da demanda. Entretanto, é a **rigidez de volume**, normalmente associada à intensidade de investimento fixo, seja em capital ou em mão-de-obra especializada, que leva à utilização de alternativas agressivas.

Uma estratégia muito usada pelas indústrias de alta sazonalidade é criar produtos que utilizam os mesmos recursos, mas que tenham demanda com **sazonalidade complementar**. Por exemplo, uma fábrica de implementos agrícolas pode produzir equipamentos para plantio, para manejo da cultura e para colheita e, assim, quando a demanda de um tipo de equipamento estiver no pico, a de outro tipo deve estar em baixa.

No que segue, consideraremos apenas alternativas reativas. Isso não quer dizer que alternativas agressivas tenham sido eliminadas. Alternativas agressivas podem ter sido tomadas antes da elaboração do plano agregado propriamente dito e já estarem refletidas nas metas de venda consideradas, como por exemplo, a fabricação de produtos sazonalmente complementares. Podem também ser utilizadas num prazo mais curto após o planejamento agregado para um ajuste fino da demanda, como, por exemplo, promoções de vendas para aumentar a demanda em questão de dias, ou semanas.

Ao planejar recursos comuns a diversos produtos, a idéia é agregar a demanda deles e tratar esses produtos como se fossem um só, ou seja, um **produto padrão de planejamento**. Posteriormente,

<sup>1</sup> *Commodities*, plural de *commodity*. Uma *commodity* é uma mercadoria com elevado grau de padronização e, por isso, não diferenciada, ou pouco diferenciada pelo consumidor. Por exemplo, o arroz é uma *commodity* porque não faz diferença para o consumidor (industrial ou pessoal) qual o produtor do arroz, desde que ele seja de um determinado tipo e classe da padronização comercial.

quando tivermos necessidade de maior detalhe no planejamento de recursos (como, por exemplo, planejar os materiais específicos de cada produto no MRP) e soubermos mais detalhes sobre a demanda de cada produto, será mais fácil começar a tratar esses produtos individualmente. Isso simplifica muito o planejamento, o que é um grande ganho, pois, como dissemos, a parcimônia é uma virtude no planejamento.

O leitor crítico poderá se perguntar: “Como é possível saber a capacidade necessária para a produção se não soubermos o quanto se pretende vender de cada produto?” A resposta a seguir não é definitiva, mas o fato é que, normalmente, é mais fácil estimar a demanda agregada de uma família de produtos e quanto de capacidade de produção ela irá requerer do que estimar a demanda de cada um dos produtos individualmente. Por exemplo, talvez o pessoal de marketing e vendas de uma usina siderúrgica saiba lhe dizer quantas toneladas de laminados se espera vender em cada trimestre do ano seguinte, mas certamente terá dificuldade de lhe informar quantas toneladas de cada produto laminado esperam vender nesses mesmos períodos.

É claro que, por tratar da atividade-fim da empresa, o planejamento tático envolve outras áreas da organização. Por exemplo, quando falamos de aumentar o número de empregados, temos de levar em conta a capacidade limitada que a empresa tem para recrutar, selecionar e treinar pessoal, ou seja, estamos envolvendo a área de Recursos Humanos. Quando falamos de aumentar estoques de produtos acabados em face de um pico de demanda esperado para o Natal, certamente o departamento financeiro precisará aumentar o capital de giro (ou capital de curto prazo) a fim de financiar esse aumento de estoque. Por isso o planejamento agregado pode ser visto como base para o que algumas empresas chamam de **plano anual de produção** (em manufaturas) ou **plano anual de operações** (em serviços), ou ainda, como parte do **planejamento de vendas e operações, S&OP** (*Sales and Operations Planning*). Este último é o processo de planejamento que promove a comunicação entre áreas da organização para se chegar a um plano coerente e eficiente.

Há casos em que não é possível agregar produtos muito diferentes, como, por exemplo, numa empresa que fabrique móveis de madeira e móveis de aço. Nesse caso, os recursos usados na produção de móveis de madeira são bem diferentes dos utilizados para produzir os móveis de aço. Portanto, os recursos mais críticos (equipamentos e mão-de-obra) não são compartilhados e, conseqüentemente, devem ser planejados separadamente. Por isso, é necessário identificar **famílias de produtos** e fazer um planejamento agregado para cada família. Cabe ressaltar que, às vezes, **linhas de produto** são definidas em termos de marketing; por exemplo, equipamentos para uso médico e equipamentos industriais, e isso não indica que os produtos de tais linhas de produtos de marketing compartilhem os mesmos recursos básicos de produção, ou seja, não formam necessariamente uma família. Nesse caso, temos de redefinir as famílias em termos de produção e encontrar uma unidade comum para os produtos dentro de cada uma delas.

De forma explícita, ou implícita, toda empresa faz algum tipo de planejamento agregado, mas sua importância é tanto maior quanto forem as variações sazonais da demanda agregada dos produtos e variadas forem as possibilidades de ajuste da capacidade de produção de médio prazo.

### 6.3.1 Agregação

O intuito da agregação é tratar a demanda e a capacidade como se estivesse fabricando um único produto, ou seja, expressar a demanda de todos os produtos e de todos os recursos por uma única medida. Usando uma agregação adequada, os recursos de produção obteníveis em médio prazo serão planejados como se fossem para um único produto, mas quando as demandas de cada produto forem conhecidas, os recursos providenciados serão adequados para atender as necessidades de produção. Essa **medida agregada de capacidade** pode ser expressa em **produto equivalente**, ou **produto padrão**.

### Exemplo 6.2

Uma fábrica de eletrodomésticos tem uma família de aparelhos de ar-condicionado constituída por aparelhos pequenos, médios e grandes. Se, tanto em material quanto em mão-de-obra, um aparelho médio consome cerca de 20% mais do que um pequeno, enquanto um grande consome 30% mais do que um pequeno, podemos usar “aparelhos pequenos equivalentes” como medida agregada de capacidade. Suponhamos que, em junho, a demanda de aparelhos pequenos seja de 1.000 unidades, de médios, 500, e de grandes, 200, e em julho respectivamente de 1.200, 700 e 100. Qual será a demanda agregada para junho e julho em termos de “aparelhos pequenos equivalentes”?

Solução:

**Tabela 6.1.** Demanda em aparelhos pequenos equivalentes

APARELHOS	PEQUENOS	MÉDIOS	GRANDES	AGREGADA (PEQUENOS EQUIVALENTES)
Junho	1000	500×1,2	200×1,3	1860
Julho	1200	700×1,2	100×1,3	2170

Dessa forma, vamos fazer o planejamento com a demanda agregada em termos de aparelhos pequenos equivalentes, como se estivéssemos tratando de um único produto. Assim, providenciaremos os recursos adequados para produzir o equivalente a essa demanda. Mais adiante, quando esses recursos de produção estiverem disponíveis e soubermos a demanda de cada tipo de aparelho (pequeno, médio e grande), faremos a **desagregação**. Se o planejamento dos recursos tiver sido executado com sucesso, ao fazer a desagregação teremos os recursos necessários para atender à demanda exatamente como se o planejamento tivesse sido feito de forma desagregada.

Mesmo que as proporções de consumo de material e de mão-de-obra não sejam as mesmas, mas se as proporções entre aparelhos, pequenos, médios e grandes forem sempre iguais em todos os períodos, é possível fazer uma agregação e desagregação exata por meio de um **produto sintético**, ou seja, um produto “virtual” que seja equivalente em consumo aos aparelhos pequenos, médios e grandes.

Suponhamos que, para cada 100 aparelhos pequenos vendidos em cada mês, são sempre vendidos também 50 médios e 20 grandes. Se cada aparelho médio consome 20% mais material do que um pequeno, mas apenas 10% mais de mão-de-obra, enquanto um grande consome 30% mais de material, mas apenas 15% mais de mão-de-obra do que um pequeno, qual o consumo de material e de mão-de-obra de um “aparelho sintético”?

Solução

Um aparelho sintético é constituído por:

$$100/170 = 0,588 \text{ aparelho pequeno}$$

$$50/170 = 0,294 \text{ aparelho médio}$$

$$20/170 = 0,118 \text{ aparelho grande}$$

Seja  $x$  (unidades de material) a quantidade de material consumida por unidade do aparelho pequeno. Então, o material consumido por uma unidade do aparelho sintético é:

$$x (0,588 + 0,294 \times 1,2 + 0,118 \times 1,3) = 1,094 x$$

e, supondo que um aparelho pequeno consome  $y$  (unidades de mão-de-obra), a quantidade de mão-de-obra consumida por uma unidade de aparelho sintético é:

$$y (0,588 + 0,294 \times 1,1 + 0,118 \times 1,15) = 1,047 y.$$

Ou seja, uma unidade de aparelho sintético consome 1,094 do material consumido por um aparelho pequeno, e 1,047 da mão-de-obra consumida por um aparelho pequeno. Portanto, para fabricar, por exemplo, 300 aparelhos de todos os tamanhos (aproximadamente 177 aparelhos pequenos, 88 médios e 35 grandes) serão necessárias  $328 x$  unidades de material e  $314 y$  unidades de mão-de-obra.

Onde:

$$177 \text{ pequenos} = 300 \times 0,588$$

$$88 \text{ médios} = 300 \times 0,294$$

$$35 \text{ grandes} = 300 \times 0,118$$

$$328 x = 300 \times 1,094 x$$

$$314 y = 300 \times 1,047 y$$

### 6.3.2 Desenvolvimento do plano agregado

Por se situar no nível tático, lidar com a atividade-fim da empresa e ter implicação direta na execução da estratégia da empresa, o planejamento agregado abrange diversas funções gerenciais. Assim, seu desenvolvimento é freqüentemente responsabilidade da alta gerência e coordenado por seus assessores.

A participação da **área funcional** industrial, particularmente do PCP, é fundamental para avaliar as condições de produção, entre elas as **capacidades efetivas** dos processos, suas **produtividades**, **rendimentos** e custos. A contribuição de marketing e vendas é, também, imprescindível e ampla, pois essas áreas funcionais são as que mais conhecem as características da demanda futura (outros dados básicos para o planejamento agregado) e são afetadas diretamente pelas decisões resultantes. As áreas de gestão de pessoas e financeira são as que irão providenciar os devidos recursos para dar suporte ao plano e, por isso, sua participação é essencial tanto no sentido de opinar sobre a viabilidade do plano como de fornecer dados que garantam um plano realista. Junto com marketing, a área de Engenharia (do produto) tem um papel importante, especialmente nas empresas que oferecem produtos especiais feitos **sob medida** ou **personalizados**,<sup>2</sup> pois o processo produtivo está intimamente ligado ao projeto do produto e às dificuldades de produção, incluindo rendimento, tempos de processo (ou produtividade) e outros.

Conforme será detalhado ao final desta seção, o processo de planejamento agregado pode tomar várias semanas, ou mesmo meses. Isso é necessário porque os dados nem sempre são de fácil obtenção, e são necessárias várias reuniões em diversos níveis decisórios e áreas. Uma outra razão é que, depois de estabelecido, o plano deve ser desdobrado em planos próprios de cada área funcional.

O tópico seguinte procura olhar o planejamento agregado da perspectiva do PCP. Isso não quer dizer que aspectos mais próprios de outras áreas possam ser abstraídos ou não sejam importantes para o desenvolvimento do planejamento agregado.

### 6.3.3 Objetivos e condicionantes do plano

Para dar início ao planejamento agregado, é importante que fiquem claros os objetivos estratégicos da empresa. Além do objetivo de maximizar o lucro (ou o custo total do plano, se a receita for essencialmente fixa), outros aspectos dos objetivos estratégicos devem ser levados em conta.

Entre esses objetivos podem estar o bom atendimento ao cliente, que pode exigir alguma **capacidade de reserva** para evitar atrasos na entrega; a melhoria da qualidade dos produtos que, além dessa **folga de capacidade**, pode exigir mais cuidado da manutenção, ou menor **rotatividade de pessoal**. Responsabilidades sociais na forma de bom relacionamento com empregados, comunidade e autoridades, além daquelas relativas ao meio ambiente costumam ser considerações importantes ligadas às características do plano. À medida que a tendência de **terceirização** se firma, fornecedores passam a ser parceiros importantes, e o bom relacionamento com eles, um ativo estratégico da empresa. Por

<sup>2</sup> Neste texto preferimos o termo “personalizado” ao “customizado”, que é um anglicismo malformado.

isso, a capacidade de fornecimento dos **fornecedores críticos** e os compromissos de compra a serem assumidos junto a eles devem também ser considerados.

Ainda outros aspectos estratégicos, como planos de contingências e riscos de diversas naturezas, devem ser levados em conta. Normalmente esses aspectos são considerados através da formulação de **planos robustos**, isto é, planos que exibam resultados satisfatórios mesmo em cenários futuros desfavoráveis.

Geralmente essas considerações estratégicas são de difícil quantificação. Isso não significa que devemos considerá-las apenas após a elaboração do plano. Muitas vezes, apesar das dificuldades de quantificação, as gerências dos níveis alto e médio têm elevada sensibilidade para julgar até que ponto essas considerações são atendidas. Por exemplo, se há uma intenção de reduzir a rotatividade de pessoal, talvez, com base na experiência passada, a gerência possa determinar uma rotatividade percentual máxima tolerável a ser formalmente incorporada no processo de geração do plano.

Assim, objetivos do plano podem ser representados por restrições ou metas. Como valores monetários, em geral, são mais fáceis de interpretar e de quantificar, freqüentemente é mais adequado colocar como objetivo a maximização do lucro (ou, conforme o caso, minimização do custo total) e tratar outros objetivos como restrições.

Condicionantes óbvios para o planejamento são as capacidades das instalações, dos equipamentos e do pessoal especializado. Como visto anteriormente, a obtenção ou redução desses recursos, quando possível, é geralmente muito cara e difícil no prazo considerado no planejamento agregado e, por isso, as quantidades desses recursos serão consideradas como dados. Isso não significa que a disponibilidade desses recursos tenha de ser constante durante todo o horizonte de planejamento. Por exemplo, a aquisição de um novo equipamento pode ter sido decidida alguns anos antes, com **entrada em funcionamento** do equipamento prevista para data futura dentro do horizonte de planejamento.

Em paralelo ao planejamento agregado, normalmente é elaborado um plano anual de investimentos que, além de detalhar o que está previsto no plano diretor de desenvolvimento, inclui, também, investimentos menores para melhorias na produtividade, na qualidade, nas condições de trabalho, no meio ambiente, na qualificação do pessoal, nos custos e em outros aspectos julgados importantes e de impacto imediato. Apesar de alguns resultados do plano anual de investimentos terem implicações para o planejamento agregado, vamos supor, sem entrar em detalhes, que tais efeitos já estão considerados nos dados e nas restrições que utilizaremos. Isso porque as considerações desse plano de investimentos são de natureza diversa das do planejamento agregado.

### 6.3.4 Estratégias básicas

Conforme já indicado, aqui o uso de alternativas agressivas não será considerado de modo explícito. Nosso exame será centrado nas alternativas reativas e, salvo menção em contrário, partiremos da suposição de que metas de vendas já foram bem estabelecidas em fase anterior do planejamento.

Uma questão central no planejamento agregado é como fazer face à sazonalidade da demanda, de matérias-primas ou da disponibilidade de recursos de produção. Se essa sazonalidade for pouco acentuada, o planejamento agregado se torna quase trivial, pois a única razão que restaria para planejar recursos de médio prazo seria alguma **volatilidade** (variações aleatórias) nesse elemento, e a questão se resumiria a decidir quanto de capacidade de reserva e **estoque de segurança** manter. Conforme ficará claro adiante, a sazonalidade dos recursos seria fácil de tratar, bastando para isso considerar as disponibilidades e os preços previstos para cada mês.<sup>3</sup> No que segue vamos considerar apenas a sazonalidade da demanda.

Dessa forma, a essência do planejamento agregado, a ser tratado a seguir, pode ser vista como a busca por um ajuste dos recursos comuns à produção da família de produtos à demanda, ou mais

<sup>3</sup> Apesar de aqui considerarmos um mês como período de planejamento, conforme já dito, esse período é freqüentemente um bimestre, um trimestre e até um semestre. O período mais adequado depende de vários fatores, como sazonalidade e *lead-time* do processo de fabricação.

precisamente, à meta de venda em cada mês. É claro que esse ajuste não só deve atender às restrições impostas pela disponibilidade de recursos de produção e por considerações gerenciais (incluindo as de cunho estratégico mencionadas), mas também produzir um plano que gere lucros tão elevados quanto possível.

Quando falamos de manufatura, as vendas de cada mês devem ser atendidas pela produção do mês e/ou pelo estoque ao início do mês.<sup>4</sup> A produção em cada mês, por sua vez, não pode exceder à capacidade (ou seja, a quantidade de recursos de produção) disponível nesse mês.<sup>5</sup> Portanto, podemos pensar nas quantidades a produzir em cada mês como sendo as variáveis de decisão do planejamento.<sup>6</sup>

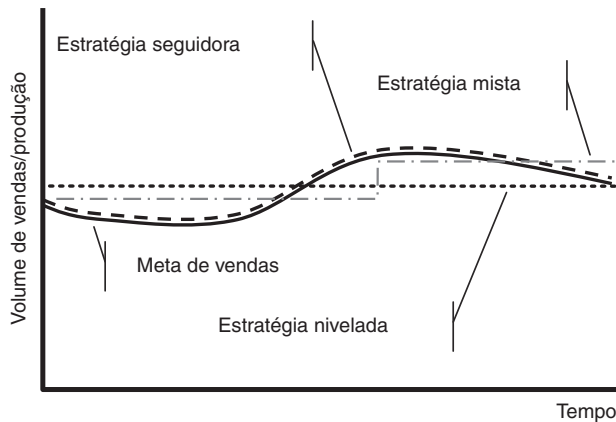


Figura 6.2. Estratégias extremas para atender à demanda.

Duas abordagens extremas para ajustar a capacidade de produção às metas de venda são chamadas de **estratégia seguidora** e **estratégia nivelada**.

Na Figura 6.2, a estratégia seguidora é ilustrada pela linha tracejada, e a nivelada, pela linha pontilhada. A estratégia seguidora procura fazer a produção acompanhar as metas de vendas, evitando, assim, a formação de estoques. Essa estratégia extrema pode ser indicada quando é fácil variar o nível de produção sem implicar custos elevados e a capacidade ociosa é muito dispendiosa. Como não há formação de estoque, só se produz o que será logo vendido. É também utilizada em serviços.

No outro extremo, a estratégia nivelada mantém o nível de produção constante. No caso representado na Figura 6.2, o nível de produção é mantido constante entre o mínimo e o máximo de demanda (ou de meta de venda). Isso é possível porque, durante o período em que a produção excede a demanda (ou meta de venda), estoques são acumulados para cobrir o déficit de produção durante o período em que a demanda supera a produção (período de tempo após o ponto em que a curva cheia corta a linha pontilhada). Às vezes também é chamada de **estratégia de mão-de-obra nivelada**, pois pode se manter constante a quantidade de empregados ainda que o volume da produção varie.

Entre essas duas estratégias extremas podem-se desenvolver planos com **estratégia mista**, ou seja, com uma combinação dessas duas estratégias, conforme sugerido na Figura 6.2 pela linha pontilhada-tracejada quebrada. Em princípio, a estratégia mista pode ser vista como um caso mais geral que engloba as duas estratégias extremas como casos particulares. Frequentemente, essa estratégia é de fato mais interessante, porque, mesmo sem contratação ou dispensa de pessoal é possível variar a

<sup>4</sup> Se as vendas podem, ou não, ser atendidas pela produção do período é uma convenção a ser decidida em função da situação particular em questão. Aqui estaremos considerando que a produção do período pode ser utilizada para atender a demanda do próprio período.

<sup>5</sup> A principal diferença para o planejamento agregado em serviços é que, diante da impossibilidade de fazer estoques, a cada período só pode ser atendida apenas pelos recursos disponíveis nesse mesmo período.

<sup>6</sup> Veremos adiante que essa escolha de variáveis de decisão nem sempre é a mais adequada.

produção. Isso pode ser feito concentrando as férias em meses de baixa demanda, ou, se há uma rotatividade natural de mão-de-obra, só fazendo a reposição de pessoal próximo das ocasiões de pico de demanda.

### 6.3.5 Atividades e decisões para elaboração do modelo de planejamento agregado

#### 6.3.5.1 Agregação e medidas

Como já visto anteriormente neste capítulo, na elaboração do plano é necessário mensurar os níveis agregados de demanda e capacidade, geralmente por famílias de produtos ou produtos sintéticos ou equivalentes. Exceto para produções padronizadas e/ou repetitivas, cujo foco é o produto, essa tarefa pode ser extremamente complexa. O consumo unitário por capacidade geralmente varia para os diferentes produtos gerados na operação, em especial quando o foco é no processo (exemplo: operações tipo *job shop*).

Um importante aspecto a ser considerado é a escolha do tipo de medida que será utilizado, podendo-se adotar medidas de produção (*outputs*), quando o foco é no produto, ou medidas de insumo (*inputs*), quando o foco é no processo. A tabela 6.2 traz um exemplo da utilização de medidas em diferentes tipos de operação:

**Tabela 6.2.** Utilização de medidas de *inputs* e *outputs* como medida de agregação

OPERAÇÃO	MEDIDAS DE CAPACIDADE	
	INSUMOS ( <i>INPUT</i> )	PRODUTOS ( <i>OUTPUT</i> )
Fábrica de ar-condicionado	Horas de máquinas disponíveis	Número de unidades produzidas por semana
Cervejaria	Volume dos tanques de fermentação	Litros produzidos por semana
Hospital	Leitos disponíveis	Número de pacientes tratados por semana
Teatro	Número de assentos	Número de clientes entretidos por semana

#### 6.3.5.2 Dados e sua obtenção

O processo de obtenção de dados para o planejamento deve ser uma preocupação constante na empresa, uma vez que os planos são revistos periodicamente. Imaginem o volume de trabalho necessário se, toda vez que for iniciado um novo plano, todas as áreas da empresa tiverem de levantar novos dados. É bem provável que o tempo torne esse trabalho inviável. Portanto, um bom sistema de coleta de dados deve ser elaborado, visando atender às necessidades do planejamento agregado, de forma que suas informações e premissas sejam sempre atualizadas, mas mantendo as versões anteriores para futuras comparações. Atualmente, ferramentas de suporte à decisão integradas a sistemas de gestão integrada (ERP – *enterprise resources planning*) são excelentes fontes de dados para o planejamento agregado. Para mais detalhes, veja o Capítulo 11.

#### 6.3.5.3 Objetivos e critérios para avaliação

Os objetivos explícitos mais comuns ao se elaborar o plano agregado são maximizar lucros ou minimizar custos (nos casos em que a receita é suposta constante). Alguns objetivos alternativos também podem ser analisados, como por exemplo, a maximização do atendimento ao cliente. Note que, nesta etapa, ainda não podemos avaliar o cumprimento de prazos, que será consequência do planejamento operacional (Capítulos 7 e 8).

Quando procuramos reduzir o custo de manter estoques (discutido a seguir), indiretamente estamos procurando reduzir o investimento em estoque. Isso porque o custo de oportunidade desse investimento representa a maior parcela do custo de manter estoques. Contudo, a minimização dos investimentos em estoque também pode ser um objetivo explícito e direto, quando o **capital de curto prazo** (capital de giro) é de difícil obtenção.

Muitos outros importantes critérios normalmente estão presentes no planejamento agregado, como a boa imagem da empresa e a responsabilidade social nas relações trabalhistas, apenas para citar alguns. É a dificuldade de operacionalização e quantificação desses critérios, e não sua importância, que normalmente nos leva a excluí-los das análises quantitativas. Por isso, os resultados das análises e dos modelos quantitativos devem sempre ser vistos à luz desses critérios não-formalizados.

#### 6.3.5.4 Produtividade

A produtividade influencia diretamente no uso da capacidade. Ao elaborar o plano, deve-se observar a capacidade operacional (detalhes no Capítulo 12) dos equipamentos e da mão-de-obra. Assumir ganhos de produtividade em função de novas tecnologias ou repetição de tarefas nesta etapa é uma decisão arriscada e deve ser tomada somente nos casos em que, além de comprovação teórica, há evidências claras dos ganhos também na prática. É comum compensar o horizonte de tempo distante e a imprecisão dos dados (advindas da agregação) através da utilização de capacidades conservadoras, ainda menores que a capacidade operacional. Tal compensação deve ser avaliada cuidadosamente através da geração de cenários alternativos, especialmente se houver inovações tecnológicas relevantes no processo futuro.

#### 6.3.5.5 Restrições

A restrição mais comum ao modelar um plano agregado é a continuidade dos estoques no tempo, também conhecida como restrição de fluxo. Nessa restrição, o estoque final de um determinado período é dado pelo estoque inicial desse período, acrescido da produção do mesmo, subtraindo-se estoque consumido para atender à demanda do período. Mais adiante neste capítulo, veremos a abordagem matemática dessa e de outras restrições. Analogamente, podemos modelar também como fluxo o número de funcionários em cada período.

As restrições do plano também podem refletir políticas da empresa, como por exemplo manter estoques de segurança ou capacidades ociosas para atender demandas de emergência.

#### 6.3.5.6 Custos

Os principais custos utilizados na modelagem do plano agregado são:

- *Custo das horas normais de trabalho e custo das horas extras*

As horas extras permitem que a empresa mantenha seu quadro de funcionários, mas possui alguns limites que devem ser observados. Raramente é possível contar simultaneamente com todos os funcionários em regime de horas extras. A legislação trabalhista determina limites máximos semanais desse regime. Na prática, a produtividade durante as horas extras tende a ser mais baixa.

- *Custos de contratação e demissão*

Os custos de contratação são compostos por recrutamento, seleção e treinamento necessário para que o funcionário exerça sua função. Custos de demissão envolvem indenizações legais e custos “ocultos”, como ressentimentos, má imagem da empresa e apreensão entre os funcionários. Grandes variações de mão-de-obra podem levar à baixa produtividade, em função do tempo limitado de experiência, além de custos extras com treinamento. Além disso, o número de demissões pode ser limitado por acordos sindicais.

- *Custos de mão-de-obra terceirizada ou temporária*

A terceirização equivale à aquisição de capacidade adicional temporária, mas devem ser considerados aspectos de qualidade e controle, assim como a dimensão dos impactos e custos envolvidos nesses aspectos. Por isso, atividades relacionadas ao negócio central (*core business*) da empresa geralmente não são terceirizadas. Em alguns setores da indústria e serviços, onde há pouca especialização, é possível a utilização de mão-de-obra temporária, porém limitada durante determinados períodos. A terceirização quando associada a alta rotatividade de terceirizados, pode trazer “vazamen-



to” de informação, quando falamos de empresas com tecnologia não protegida por lei (patentes ou registros). Por exemplo, pode se perder para um concorrente a mão de obra especializada e treinada em seu ambiente, que leva para a outra empresa conhecimento em processos produtivos.

- *Custos de manutenção dos estoques*

Incluem os custos de armazenagem, do capital investido, além do custo com seguros e perdas (obsolescência, deterioração, quebras no manuseio, entre outros).

- *Custos de pedidos em atraso e custos de falta de estoques (não atendimento à demanda).*

O custo de não atender um pedido pode ser o simples pagamento de multa contratual ou a perda da venda e, portanto, facilmente estimado. Entretanto pode ser difícil representá-lo por um valor monetário como no caso de ser a perda de um cliente importante, ou um estrago na boa imagem da empresa. Se não puder ser explicitamente considerado na modelagem, deve ser tratado como um custo subjetivo e analisado à parte.

### 6.3.5.7 Premissas

É importante deixar claras as premissas importantes, não só na elaboração do plano, de modo a garantir que a realidade está sendo bem retratada, mas também quando da avaliação dos planos gerados. Por exemplo, geralmente, supõe-se que sempre há capacidade disponível para subcontratação, ou seja, que a capacidade dos fornecedores é infinita. Isso é feito porque se espera que o nível de subcontratação seja pequeno; mas, se a utilização de subcontratação for muito grande, essa premissa perde sua validade, e os planos devem ser revistos.

A estimativa de custo do plano possui precisão razoável dentro do horizonte de planejamento considerado, pois os investimentos em custos fixos já foram realizados. Entretanto, os custos e as demandas utilizados na análise são estimativos e, como tal, não são precisos nem certos.

Quando há muitas incertezas sobre o futuro, é recomendável utilizar uma abordagem de **análise por cenários**. Nessa abordagem, diferentes cenários (normalmente poucos, cerca de três) são criados para representar os conjuntos de condições mais prováveis, tais como: (a) **mercado comprador** (isto é, com muita pressão de oferta e pouca para demanda, ou então clientes com altos lucros e fornecedores com baixo lucro); (b) **mercado normal** e (c) **mercado vendedor** (o simétrico do mercado comprador). Cenários podem ser mais adequados do que simples análises de sensibilidade porque consideram combinações coerentes de premissas (por exemplo, não é coerente considerar que há uma grande demanda interna por automóveis e que os preços das autopeças estão mais baixos do que o normal).

Cenários podem ser usados para testar a robustez dos planos. Consideremos, por exemplo, uma situação em que foram analisados três cenários de mercado, digamos: (a) alto crescimento econômico; (b) crescimento normal e (c) baixo crescimento. Suponhamos ainda que um plano ótimo tenha sido gerado para cada cenário. Uma boa prática é verificar como cada um desses planos se comportaria sob os dois outros cenários. Ou seja, examinaríamos o que aconteceria se o plano para o cenário de alto crescimento fosse adotado ou um dos dois outros cenários e, assim por diante, vendo como cada plano gerado para uma determinada situação se comportaria nas outras situações consideradas. Um plano que se comporta bem em todas as situações é dito ser um **plano robusto**. É claro que, se a situação é muito arriscada, talvez a questão de robustez seja decisiva na escolha do plano a ser adotado.

### 6.3.5.8 Outros fatores

Diversos outros fatores podem ser levados em consideração na elaboração do plano. Alguns dos mais comuns são a rotatividade da mão-de-obra, a inclusão de períodos de férias e a terceirização em períodos de falta de capacidade.

É preciso ter cautela quanto ao grau de representação da realidade que se deseja impor ao modelo. Quanto mais fatores incorporados, mais difícil se torna a modelagem, podendo, em alguns casos, até mesmo inviabilizar a solução através de técnicas como programação linear. Se forem utilizados métodos intuitivos, uma grande quantidade de variáveis pode tornar o processo de análise lento e

improdutivo devido à baixa capacidade da mente humana para considerar simultaneamente muitos fatores diferentes (mais do que sete ou nove). Nunca é demais repetir que a parcimônia é uma grande virtude em planejamento.

#### 6.3.5.9 Determinação do horizonte, horizonte deslizante e período de congelamento

O horizonte de tempo coberto pelo planejamento agregado deve ser determinado de acordo com o tempo consumido pelo processo produtivo, de modo a obter seus principais recursos (materiais, pequenos equipamentos e pessoas) que podem ser adquiridos no médio prazo. Deve ser o mais curto possível, mas suficientemente longo para cobrir todo um ciclo de sazonalidade. Isso é importante porque, conforme veremos adiante, picos de demanda acima da capacidade de produção podem exigir o acúmulo de estoque em períodos anteriores para atender a demanda excedente. Normalmente, adota-se um horizonte de 12 a 18 meses, mas há casos em que pode ultrapassar dois anos ou até mais.

A menor unidade de tempo considerada no planejamento é, em geral, um mês. Entretanto, não é raro que se use trimestres ou mesmo semestres. Um exemplo disso são as universidades, onde os períodos de planejamento correspondem aos períodos letivos (semestres ou trimestres), pois as necessidades de recursos (professores horistas) não variam durante o período letivo. Outras vezes, ainda, usam-se períodos mais curtos, digamos, meses para os mais próximos, e trimestres, para os mais distantes no futuro. Isso permite manter um número reduzido de períodos e levar em conta variações sazonais.

Como vimos, o plano deve ser revisto periodicamente, incorporando novas previsões e informações a respeito dos recursos. Esse intervalo de tempo entre as revisões é conhecido como **período de replanejamento** num esquema de **horizonte deslizante** (*rolling horizon*), e pode variar entre um e três meses, podendo ser maior em alguns casos específicos, influenciado pelos mesmos fatores do horizonte de planejamento.

É importante ressaltar que o custo de toda e qualquer mudança no plano está associado ao horizonte, pois quanto mais próxima (no tempo) estiver a necessidade de alteração, maior será o seu custo. Isso se deve ao fato de que, em se tratando de mudanças em períodos mais próximo, algumas providências já estarão em curso, e suas reversões exigem providências emergenciais, cancelamentos de contratos e outras ações custosas. Em alguns casos, certas decisões são até mesmo inviáveis, dependendo do prazo disponível. Por essa razão, é conveniente definir **períodos congelados** (*frozen periods*) delimitados por **cercas de tempo** (*time fences*), nos quais não há tempo hábil para realizar mudanças no plano, ou pelo menos se avaliar os altos custos e as implicações de uma alteração. Esses períodos devem ser entendidos e aceitos por todos os setores da empresa envolvidos com o plano e podem ser segmentados por família de produtos e níveis de planejamento.

Finalmente, algo às vezes negligenciado é o fato de estarmos usando um horizonte finito para realizar um planejamento que, em princípio, seria num horizonte infinito. Ou seja, apesar de estarmos considerando um horizonte finito, na realidade espera-se que a empresa não desapareça no final do horizonte considerado. É claro que quanto mais longe no futuro, menos influência os fatos têm nas decisões que devem ser realmente efetivadas. Mesmo assim, a hipótese de que a empresa não desaparece no final do horizonte de planejamento pode ter influência na escolha do plano. Para lidar com esse problema, vários truques podem ser utilizados. Um deles é imaginar as condições finais que se deseja ter ao final do horizonte e fixá-las. Outro, quando as condições de planejamento se repetem (aproximadamente) de modo cíclico, ano após ano, é fazer o horizonte **dobrar-se sobre si mesmo** (*wrap-around*). Isto é, forçar que as condições iniciais e finais do ciclo sejam as mesmas e achar o melhor plano sob essas condições. Isso equivale a obter o estado estacionário supondo que os anos futuros serão iguais aos que estamos planejando. Isso feito, saberemos as condições ideais de início e fim do horizonte de planejamento e, assim, poderemos fazer com que o plano que estamos desenvolvendo termine em condições ideais para iniciar um novo planejamento.

### 6.3.6 Técnicas para solução

#### 6.3.6.1 Intuitiva e gráfica

Os métodos intuitivos utilizam planilhas de cálculo e gráficos para auxiliar a elaboração manual do plano agregado com base nas estratégias básicas mencionadas na Seção 6.3.4. Fazendo-se os ajustes julgados necessários, são gerados diversos planos para que os responsáveis escolham o mais conveniente levando em conta os aspectos julgados relevantes, entre eles, é claro, custo total do plano. Muitas vezes, a construção dos planos assemelha-se a um processo de tentativa e erro, e por esta razão, dificilmente resulta em um plano agregado ótimo, o que é uma desvantagem deste método. Outra desvantagem é que pode não ser fácil gerar um plano satisfatório e factível se o número de variáveis for grande e as condições exigidas forem complexas.

Um gráfico cumulativo com o estoque disponível e com a demanda cumulativa auxilia bastante a visualização da viabilidade do plano. De fato, é claro que, a cada instante, tudo de que se dispõe deve ser não inferior a tudo o que se vendeu até o momento; ou seja, a disponibilidade cumulativa nunca deve estar abaixo da demanda cumulativa.

#### Exemplo 6.3

A diretoria de uma fábrica de eletrodomésticos está considerando as seguintes informações para elaboração do plano agregado para seis meses da família de produtos tipo A:

**Tabela 6.3.** Dados de demanda – Exemplo 6.3

PERÍODO	1	2	3	4	5	6
Previsão da demanda	400	250	700	150	300	600

Fonte: Reunião especial de planejamento de dezembro (aprovado por PCP, Marketing & Vendas, RH, Comercial e Financeiro).

#### Informações de produção:

Número inicial de funcionários = 10

Produtividade individual = 40 unidades por funcionário por mês (Fonte: estimativa do PCP)

Carga mensal de operário em horas normais = 160 horas por funcionário por mês (média)

#### Informações de custos:

Remuneração mensal do funcionário (incluindo todos os encargos) = R\$600,00 (Fonte: RH)

Horas extras = R\$5,5/h (Fonte: RH)

Horas subcontratadas = R\$7,00/h (Fonte: RH)

Custo de manter estoque = R\$5,00 por unidade por período (aplicado ao estoque médio).

Fonte: PCP com base no custo marginal do capital de giro fornecido pelo Financeiro)

Custo de contratar = R\$600,00 por funcionário (Fonte: RH)

Custo de demitir = R\$800,00 por funcionário (Fonte: RH)

A diretoria determinou que a demanda de cada mês deve ser totalmente atendida sem atrasos e está considerando duas estratégias extremas conforme segue.

**Plano I:** Os diretores pretendem avaliar um *plano de produção estável* (estratégia nivelada), usando horas normais de trabalho e mantendo constante o quadro de funcionários.

A produção de cada período será, portanto, 400 unidades (10 funcionários x 40 unidades). Assumindo que não há estoque inicial, a projeção dos estoques iniciais e finais por período é apresentada na tabela a seguir.

**Tabela 6.4.** Situação de estoque inicial infactível

PERÍODOS	1	2	3	4	5	6
Previsão da demanda	400	250	700	150	300	600
<b>Produção do período</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>
Estoque Inicial	0	0	150	-150	100	200
Estoque Final	0	150	-150	100	200	0

Onde:

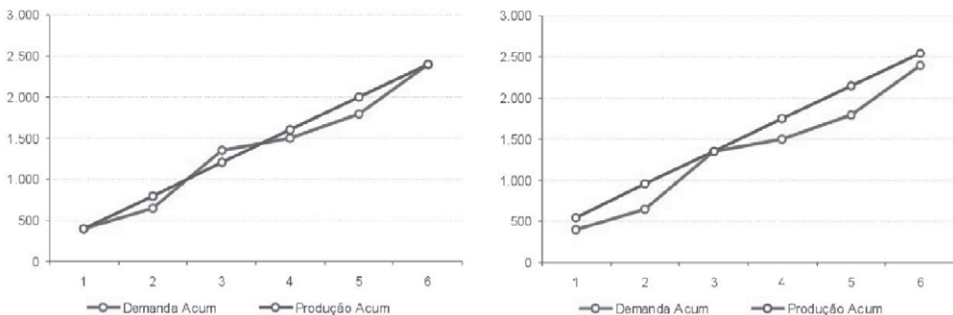
$$\begin{aligned} \text{Estoque ao final do período } t &= \text{estoque inicial do período } t + \text{produção do período } t - \text{previsão de demanda do período } t \\ \text{Estoque inicial do período } t+1 &= \text{estoque ao final do período } t \end{aligned}$$

Observe que no período 3 a produção não será suficiente para suprir a previsão de demanda (estoque final negativo, conforme mostra a Figura 6.3, em que claramente a curva de demanda cumulativa não se encontra completamente abaixo da curva de disponibilidade cumulativa). Como a estratégia adotada pela diretoria não permite variação da produção, só será possível atender toda a demanda do período 3 se tivermos um estoque inicial de mesmo valor para absorver esse excesso de demanda ou se a taxa de produção for aumentada. Suponhamos que o estoque inicial seja exatamente de 150 unidades. Nesse caso, um plano factível seria conforme a tabela a seguir.

**Tabela 6.5.** Estoque inicial factível

PERÍODO	1	2	3	4	5	6
Previsão da demanda	400	250	700	150	300	600
<b>Produção do período</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>
Estoque Inicial	150	150	300	0	250	350
Estoque Final	150	300	0	250	350	150

Com isso, todas as previsões de demanda são atendidas pela produção ou (ao menos em parte) pelos estoques. Graficamente, podemos visualizar a demanda e a produção acumulada ao longo dos períodos e analisar a viabilidade do plano.



**Figura 6.3.** Gráficos cumulativos para estratégia de produção estável.

Incorporando todas as informações fornecidas, podemos elaborar a Tabela 6.6 e calcular o custo total do plano:

**Tabela 6.6.** Exemplo de plano usando estratégia nivelada

Estoque inicial =	150						
Número funcionários inicial =	10						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Previsão da demanda	400	250	700	150	300	600	2.400
<b>Produção do período</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>2.400</b>
Produção Normal	400	400	400	400	400	400	2.400
Produção Horas Extras							
Produção Subcontratada							
Mão-de-obra Total	10	10	10	10	10	10	
Contratados	0	0	0	0	0	0	
Demitidos	0	0	0	0	0	0	
Estoque Inicial	<b>150</b>	150	300	0	250	350	
Estoque Final	150	300	0	250	350	<b>150</b>	
Estoque Médio	150	225	150	125	300	250	1.200
Cálculo dos Custos							
Horas Normais	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	<b>36.000</b>
Horas Extras							
Horas Subcontratadas							
Contratações							
Demissões							
Custo do Estoque	750	1.125	750	625	1.500	1.250	6.000
<b>Custo Total por período</b>	<b>6.750</b>	<b>7.125</b>	<b>6.750</b>	<b>6.625</b>	<b>7.500</b>	<b>7.250</b>	<b>42.000</b>

Onde:

$$\text{Estoque médio} = EM_t = \frac{EI_t + EF_t}{2}; \sum_{t=1, T} EM_i = 1.200 \text{ unidades}^7$$

O custo total do Plano I foi de R\$42.000,00.

Plano II: Suponha agora que a diretoria deseja avaliar uma estratégia seguidora, ou seja, variar a mão-de-obra para produzir exatamente a previsão de demanda do mês, eliminando assim a necessidade de estoques através da variação da mão-de-obra para manter ajustada a capacidade. A Tabela 6.7 ilustra os cálculos para essa estratégia.

Vários aspectos deste exemplo são dignos de nota. Em primeiro lugar, observe que os planos não são diretamente comparáveis porque cada um deixa o sistema num estado diferente. De fato, o Plano I termina com 150 unidades em estoque e com 10 funcionários, enquanto o Plano II termina sem estoque e com 13 empregados. A relevância dessas diferenças fica clara quando perguntamos: “Qual das duas condições finais é mais interessante para iniciar o planejamento seguinte?” Isso ilustra a questão já mencionada de se tratar um problema de horizonte indeterminado com uma abordagem de horizonte finito.

<sup>7</sup> Note que quando os estoques inicial e final são iguais, não importa se usamos o estoque inicial, o final ou o médio. Frequentemente, se utiliza a convenção de fazer o custo de manter estoque incidir sobre o estoque final, pois, em qualquer caso, não é claro o que ocorre dentro do período.

**Tabela 6.7.**Exemplo de plano usando estratégia seguidora

Estoque inicial	150						
<b>No. inicial funcionários</b>	<b>10</b>						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Previsão da demanda	400	250	700	150	300	600	2400
<b>Produção do período</b>	<b>250</b>	<b>250</b>	<b>700</b>	<b>150</b>	<b>300</b>	<b>600</b>	<b>2250</b>
Cap. em horas normais	400	400	600	520	520	520	2960
Cap. em horas extras			<b>100</b>			<b>80</b>	180
Cap. em horas subcontrs.							
<b>Mão de Obra Total</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	74
<b>Contratados</b>			<b>5,0</b>				<b>5,0</b>
<b>Demitidos</b>				<b>2,0</b>			<b>2,0</b>
Estoque Inicial	150						
Estoque Final							
Estoque Médio	75						225
<b>Cálculo dos Custos</b>							
Horas Normais	6.000	6.000	9.000	7.800	7.800	7.800	44.400
Horas Extras			2200			1760	3.960
Horas Subcontratadas							
Contratações			3.000				3.000
Demissões				1.600			1.600
Custo do Estoque	375						375
<b>Custo Total por período</b>	<b>6.375</b>	<b>6.000</b>	<b>14.200</b>	<b>9.400</b>	<b>7.800</b>	<b>9.560</b>	<b>53.335</b>

O custo total do Plano II foi de R\$ 53.335,00.

Outra questão relevante é que o Plano II, além de mais caro, implica a dispensa e contratação de pessoal que, além dos custos já considerados explicitamente, têm um custo social elevado (não considerado), pois os funcionários dependem do emprego para sustentar suas famílias. Além de uma questão ética, é também uma questão de eficiência do sistema, pois demitir funcionários cria, nos que permanecem, um profundo sentimento de injustiça e deslealdade da empresa, ambiente de insegurança que traz enormes prejuízos à empresa. Além disso, é claro, a empresa pode perder um valioso **conhecimento tácito** adquirido pelos empregados dispensados.

Cabe também comentar três hipóteses que, freqüentemente, são feitas em formulações do problema de planejamento agregado e em outras situações de planejamento. A primeira se refere ao fato já mencionado de que, quando a receita não é alterada pelo plano, maximizar o lucro é exatamente equivalente a minimizar o custo.

A segunda é que não foram levados em conta os custos de produção referentes a materiais utilizados, a energia gasta, o investimento em capital e a depreciação dos equipamentos. A razão disso deve ser clara. Se tais custos não dependem do plano agregado, então não são **custos relevantes**. Isso ocorrerá desde que, em todos os planos considerados, a quantidade produzida seja sempre a mesma e os custos desses insumos sejam sempre os mesmos. Por isso, chamamos a atenção para o fato de os Planos I e II não serem diretamente comparáveis, pois no Plano I a quantidade produzida é maior do que no Plano II.

A terceira e última hipótese é mais complexa. Ela diz respeito ao fato de, em vez de utilizarmos uma função de custo com fluxo de caixa descontado (conforme nos ensinam nos cursos de Economia da Engenharia), usamos apenas a soma de custos. Isso parece estar errado porque temos a impressão de que o valor do dinheiro no tempo não está sendo considerado. Entretanto, é fácil perceber que o custo de manter estoque é, em grande parte, custo de oportunidade do investimento que o

estoque representa. Isso significa que, sim, o valor do dinheiro no tempo está sendo considerado. Pode-se mostrar que, sob certas condições, considerar o custo do capital investido em estoque é exatamente equivalente a se considerar o valor presente dos fluxos de caixa produzidos pelo plano.

Finalmente, um outro detalhe, que o leitor atento pode já ter notado, é que no Plano II o estoque inicial não é igual ao estoque final. Por isso, para cálculo do custo de manter estoque, utilizar da média entre o estoque inicial e final de cada mês ou utilizar apenas o estoque final irá produzir uma pequena diferença no custo total.

Nesta seção, vimos duas estratégias extremas, e ainda poderíamos testar diversas estratégias mistas, podendo ser incluídas as opções de sub-contratação e uso de horas extras. Gerar estratégias mistas factíveis e boas, com base em tentativa-e-erro, é muito trabalhoso e, normalmente, poucos planos tentativos podem ser gerados. Assim, apesar de fácil compreensão, gerar estratégias mistas por esse método não necessariamente conduz a uma boa solução.

Na próxima seção veremos como a programação matemática pode facilitar a produção de um plano factível e, não só bom, mas “ótimo” em algum sentido. Vamos também desenvolver um modelo matemático utilizando programação linear, para determinar o custo mínimo de um plano agregado para um caso-exemplo.

#### 6.3.6.2 Programação matemática

A programação matemática é uma técnica para obter uma solução ótima para problemas, através da minimização ou maximização de uma **função-objetivo**. Em geral, as variáveis dessa função-objetivo não estão completamente livres, mas sim, sujeitas a condições matemáticas, freqüentemente na forma de equações ou desigualdades denominadas **restrições**. Esse conjunto de função-objetivo e restrições constitui o que normalmente se chama de **modelo de programação matemática**.

Adiante construiremos um modelo de planejamento agregado cuja função-objetivo representará o custo total considerado. As restrições irão representar como as decisões do plano interagem e, ainda, exigir que elas obedeçam algumas condições impostas pela realidade do problema. O objetivo será a minimização do custo total, ou seja, a soma de todos esses custos envolvidos no plano. Compõem a função-objetivo diversos custos como os de contratar (ou demitir), o da folha de pagamentos, o de manter estoques e outros. As decisões a serem tomadas serão sobre quantos empregados contratar (ou demitir) em cada período, quanto produzir, quantas horas extras deverão ser utilizadas e outras que determinam custos.

No caso mais geral, o objetivo deveria ser maximizar o valor presente do lucro. A minimização do custo total relevante do plano só faz sentido quando a receita é constante, como quando se obriga que toda a demanda seja satisfeita e os preços de venda são os mesmos em todos os períodos. Caso se admita não atender toda a demanda, pode ocorrer que, para maximizar o lucro, no plano ótimo parte da demanda não seja atendida. Nesses casos, o mais simples é continuar considerando minimização de custos e incluir as vendas perdidas como um custo (igual à margem de lucro perdida com as vendas não realizadas).

São muitas e variadas as restrições possíveis nesse tipo de problema. Dentre as mais comuns, podemos citar a não-negatividade dos estoques finais (caso contrário, haveria falta), a continuidade dos estoques e da mão-de-obra ao longo dos períodos (estoque em cada período depende das vendas que o reduzem e produções que os aumentam) e limites máximos: de produção, contratação e demissão. Que restrições incluir e o nível de complexidade delas dependerão da representação da realidade pretendida e da disponibilidade de dados numéricos.

#### Exemplo 6.4

Suponha que uma fábrica de eletrodomésticos produza uma única família de produtos, cuja demanda prevista para seis períodos é:

**Tabela 6.8.** Demanda estimada para produtos tipo B

PERÍODO	1	2	3	4	5	6
Previsão da Demanda	400	900	700	500	600	900

Vamos construir um plano agregado usando programação linear para essa família de produtos. Nesse momento, vamos supor um *estoque inicial* de 150 unidades e, para iniciar o planejamento do ano seguinte nas mesmas condições do atual, exigiremos que o *estoque final* no último período seja, também 150 unidades:

**Informações de produção:**

Número inicial de funcionários = 10

Produtividade individual = 40 unidades por funcionário por mês

Carga mensal de operário em horas normais = 160 horas por funcionário por mês (média)

**Informações de custos:**

Remuneração mensal do funcionário (incluindo todos os encargos) = R\$600,00

Horas extras = R\$5,5/h

Horas subcontratadas = R\$7,00/h

Custo de manter estoque = R\$5,00 por unidade por período

Custo de contratar = R\$600,00 por funcionário

Custo de demitir = R\$800,00 por funcionário

**Informações da capacidade produtiva:**

Limite máximo de capacidade = 1.300 unidades/mês (capacidade das instalações. Fonte: PCP)

Limite máximo de horas extras = 20% das horas normais (Fonte: RH; para evitar fadiga excessiva que gera problemas de saúde, aumento de riscos de acidente e quedas de produtividade e qualidade)

Limite máximo de horas subcontratadas = 10% das horas normais e extras (Fonte: PCP, considerando uso exclusivo em tarefas auxiliares não-especializadas e a limitação da capacidade de supervisão)

**Modelagem**

Para facilitar a compreensão da modelagem, primeiro veremos apenas o problema de forma particular, para *n* períodos.

Considere  $t \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$  o índice dos períodos de planejamento.

A **função objetivo (FO)** a minimizar é o custo total do plano agregado, que é dado pela soma do custo total de produção com o custo total de manter estoque:

$$CT = CT_{produção} + CT_{manter\ estoque}$$

Como repetidamente salientamos, para que o modelo fique o mais simples possível e não perca sua utilidade, devemos levar em conta apenas tudo o que é relevante. Logo de saída, como explicado antes, vemos que os custos relativos a materiais e todos que independem do plano são irrelevantes para a escolha do plano. De fato, como na formulação do problema foi exigido que toda a demanda seja atendida e os estoques iniciais e finais sejam os fixados, o número de unidades produzidas no horizonte considerado será o mesmo, em todos os planos e igual à demanda total no horizonte considerado.

Assim, o custo de produção dependerá apenas dos custos de mão-de-obra porque, ao contrário do custo de material, tais custos dependem de quantos empregados admitimos, dispensamos, quantas horas extras e de temporários utilizamos, ou seja, de decisões relativas ao plano. Portanto:

$$CT_{produção} = CT_{MDO} = \sum_{t=1}^n csl_t Emp_t + chx_t Hx_t + chs_t Hs_t + cad_t Ad_t + cdi_t Di_t$$



Onde:

- $CT_{MDO}$  = custo total de mão-de-obra no horizonte;  
 $csl_t$  = custo de salário no período  $t$ ;  
 $Emp_t$  = empregados em folha de pagamento no período  $t$ ;  
 $chx_t$  = custo de produzir em horas extras no período  $t$ ;  
 $Hx_t$  = horas extras utilizadas no período  $t$ ;  
 $chs_t$  = custo de produzir em horas subcontratadas no período  $t$ ;  
 $Hs_t$  = horas subcontratadas utilizadas no período  $t$ ;  
 $cad_t$  = custo de admitir um empregado no período  $t$ ;  
 $Ad_t$  = número de empregados admitidos no período  $t$ ;  
 $cdi_t$  = custo de dispensar um empregado no período  $t$ ;  
 $Di_t$  = número de empregados dispensados no período  $t$ ;

Segundo essas informações, os custos não variam ao longo dos períodos, portanto:  $csl_t = csl = 600$ ;  $chx_t = chx = 7,5$ ;  $chs_t = chs = 8$ . Note que, em algumas situações, os custos podem sofrer variações ao longo do tempo em função de variações sazonais, aumentos salariais previstos ou outras razões. Como esses custos são apenas constantes do modelo, isso não apresentaria qualquer dificuldade.

Como vimos anteriormente, o estoque médio do período  $t$  é dado por:  $EM_t = \frac{EI_t + EF_t}{2}$ .

Daí deduzimos que o custo de armazenagem pode ser escrito como:

$$CT_{\text{manter estoque}} = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^n (EI_t + EF_t) \times h.$$

Onde:

- $EI_t$  = estoque ao início do período  $t$ ;  
 $EF_t$  = estoque ao final do período  $t$ , com  $EI_t$  dado, ou definido de forma especial,  
 $h$  = custo de armazenagem por unidade no período  $t$ , que incide sobre o estoque médio;

Como para qualquer período  $t = 1, 2, \dots, n-1$ ,  $EF_t = EI_{t+1}$ , podemos eliminar uma dessas variáveis, digamos,  $EI_t$ , ficando com

$$CT_{\text{manter estoque}} = \frac{h}{2} \left( EI_1 + EF_n \sum_{t=1}^{n-1} (EF_t + EF_t) \right) = h \left( \frac{EI_1 + EF_n}{2} + \sum_{t=1}^{n-1} EF_t \right),$$

ou seja, podemos simplificar deixando de lado  $EI_t$  e trabalhar apenas com  $EF_t$  (não esqueça que  $EF_t$  é dado). Isso simplifica as coisas, como neste exemplo, já que sendo  $EF_n = EI_1$ , a expressão fica simplesmente:

$$CT_{\text{manter estoque}} = h \sum_{t=1}^n EF_t$$

Portanto, podemos pensar o custo de manter estoque num período qualquer,  $t$ , como incidindo sobre o estoque final.

É claro que as variáveis da FO não podem assumir quaisquer valores. Vamos, então, impor restrições que determinem os valores admissíveis.

Começemos pelo fato de que as variáveis da FO não podem ser negativas, então:

$$Emp_t, Hx_t, Hs_t, Ad_t, Di_t, EF_t, EF_t \geq 0, \text{ para } t = 1, 2, \dots, n.$$

O nível do estoque a cada período  $t$  é definido por quanto entrou e quanto saiu do sistema. Temos, então, as comumente chamadas **restrições de continuidade** (ou de **balanço**) de estoque:

$$EF_{t+1} = EF_t + P_{t+1} - d_{t+1}, \text{ para } t = 1, 2, \dots, n \text{ e } EF_0 = \text{dado}$$

Onde:

$P_t$  = unidades produzidas no período  $t$ ;

$d_t$  = demanda prevista no período  $t$ ;

Para que essas restrições realmente representem o que queremos, estoques e produções não podem ser negativos, e falta impor as restrições de não-negatividade para as produções.

$$P_t \geq 0, \text{ para } t = 1, 2, \dots, n..$$

A produção está limitada pela mão-de-obra de que dispusermos, ou seja, temos que impor a restrição de mão-de-obra disponível.

$$P_t \leq \text{tudo o que os homens/hora disponíveis nos permitem produzir.}$$

Matematicamente temos

$$hpu_t P_t \leq Cdisp_t = (crg_t Emp_t) + Hx_t + Hs_t, \text{ para } t=1, 2, \dots, n.$$

Onde:

$hpu_t$  = produtividade da mão-de-obra em homens/hora por unidade no período  $t$  e

$crg_t$  = horas de trabalho (dias de trabalho  $\times$  jornada de trabalho normal) no período  $t$ .

Devido à capacidade dos equipamentos e instalações, há também um limite para a produção, conforme informado pelo PCP.

$$P_t \leq 1.300 \text{ unidades.}$$

De forma similar ao que ocorre com estoques, o número de empregados num período qualquer,  $t$ , está ligado ao do período anterior

$$Emp_t = Emp_{t-1} + Ad_t - Di_t, \text{ para } t = 1, 2, \dots, n \text{ e } Emp_0 = \text{dado}$$

Onde:

$Emp_t$  = empregados na folha de pagamento no período  $t$ ;

$Ad_t$  = empregados admitidos no período  $t$ ;

$Di_t$  = empregados dispensados no período  $t$ ;

Conforme informado pelo RH, as horas extras não devem superar 20% das horas normais. Para não particularizar o modelo, chamemos de  $pmhx$  esse limite percentual de horas extras. É claro que essa limitação deve ser imposta a cada empregado a cada dia. Entretanto, como estamos trabalhando com valores agregados para todos os empregados e todos os dias do mês, limitaremos o total de horas extras do mês.

$$Hx_t \leq pmhx crg_t Emp_t$$

Similarmente, denominando  $pmhs$  a proporção máxima de horas subcontratadas, o total de horas mensais subcontratadas não deverá exceder o limite máximo imposto pelo RH.

$$Hx_t \leq pmhs Cdisp_t$$

A função-objetivo “Custo total do plano agregado”, juntamente com as restrições desenvolvidas, constituem o modelo de programação linear. É importante observar que todas as expressões envolvidas no modelo são lineares, ou seja, todos os seus elementos são constantes ou somas de variáveis multiplicadas por constantes. Isso é importante para o método de solução.

### Solução

Para resolver o problema, i.e. encontrar valores para as variáveis que dêem à função objetivo o menor valor possível e que satisfaçam a todas as restrições, é necessário usar um método de otimiza-

ção linear. O método mais comum para solução de problemas é o Método Simplex (veja por exemplo ARENALES, et al.,2007). Felizmente, hoje existem diversos softwares otimizadores de programação linear de baixo custo e fácil obtenção. Entre os mais simples de usar estão os otimizadores em planilhas eletrônicas como o Solver distribuído pela Microsoft juntamente com a planilha eletrônica Excel e o What's Best distribuído pela Lindo Systems. Instruções para utilização do Solver por pessoas com razoável conhecimento do Microsoft Excel encontram-se no Apêndice 3 deste livro, disponível no site da Editora Campus/Elsevier ([www.elsevier.com.br](http://www.elsevier.com.br)).

Implementamos o modelo na planilha eletrônica para ser otimizado pelo Solver, obtendo a solução da Tabela 6.9.

### Resumo dos dados e notação:

Condições iniciais e finais

Estoque inicial e final no plano	$EF_0 = EF_T$	150	unidades;
Empregados ao início do plano	$Emp_0$	10	funcionários;

### Custos unitários:

Remuneração mensal	csl	R\$600,00	
Horas extras	chx	R\$5,50	
Horas subcontratadas	chs	R\$7,00	
Manter estoque	h	R\$5,00	por unidade por período;
Contratar	cad	R\$600,00	por funcionário;
Demitir	cdi	R\$800,00	por funcionário.

### Informações de produção:

Produtividade individual	hpu	40	unidades por funcionário por mês;
Carga mensal (horas normais)	crq	160	horas por funcionário mês;
Máximo de capacidade	MaxCap	1.300	unidades/mês;
Máximo de horas extras	pmhx	20%	das horas normais;
Máx. horas subcontratadas.	pmhs	10%	da capacidade total disponível.

No próximo exemplo, vamos considerar a variação da mão-de-obra ao longo dos períodos, de forma que incidam custos de contratação e demissão. Será considerada uma outra abordagem de programação, com base na capacidade disponível em função do número de funcionários disponíveis no período. Também serão considerados limites para horas extras, limites para contratação e demissão por período, além da restrição de mínimo e máximo de funcionários no quadro da empresa. Os estoques também serão limitados por período. O custo de produção de um período será dado pelo salário dos funcionários disponíveis.

### Exemplo 6.5

Suponha uma fábrica de móveis para escritório, cujo plano agregado para determinada família de produtos deve ser elaborado para os próximos 12 meses. A demanda prevista é dada pela tabela a seguir:

PERÍODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda	2.000	1.400	1.200	1.100	2.000	1.500	1.200	1.500	1.300	2.200	2.500	2.000

**Tabela 6.9.** Solução obtida para o Exemplo 6.4 através de Programação Linear

Períodos	$t$	1	2	3	4	5	6	Total
Previsão da Demanda	$d_t$	400	900	700	500	600	900	4000
<b>Produção do período</b>	<b><math>P_t</math></b>	<b>450,00</b>	<b>700,00</b>	<b>700,00</b>	<b>700,00</b>	<b>700,00</b>	<b>750,00</b>	<b>4000</b>
Horas Extras	$Hx_t$	0	0	0	0	0	200	200,0
Horas Subcontratadas	$Hs_t$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Admitidos	$Ad_t$	1,2	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5
Dispensados	$Di_t$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Funcionários em folha	$Emp_t$	11	18	18	18	18	18	98,8
Horas Normais	$Emp_t \times crg_t$	1800	2800	2800	2800	2800	2800	15.800,0
Capacidade de produção	$Cdisp_t$	450	700	700	700	700	750	4.000,0
Limite máximo de horas extras	$pmhx\_crg\_Emp_t$	360	560	560	560	560	560	3.160,0
Limite máximo de horas subcontratadas	$pmhs\_Cdisp_t$	45	70	70	70	70	75	400,0
Estoque final	$EF_t$	200	0	0	200	300	150	850,0
Custo Estoque	$h\_EF_t$	1.000	0	0	1.000	1.500	750	4.250,00
Custo Horas Normais	$csl\_Emp_t$	6.750	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	59.250,00
Custo Horas Extras	$chx\_Hx_t$	0	0	0	0	0	1.100	1.100,00
Custo Horas Subcontratadas	$chs\_Hs_t$	0	0	0	0	0	0	0,00
Custo de Contratar	$cad\_Ad_t$	750	3.750	0	0	0	0	4.500,00
Custo de Dispensar	$cdi\_Di_t$	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>Custo Total</b>		<b>8.500</b>	<b>14.250</b>	<b>10.500</b>	<b>11.500</b>	<b>12.000</b>	<b>12.350</b>	<b>69.100</b>

A fábrica possui atualmente 50 funcionários e políticas severas quanto à contratação e demissão, e também quanto ao tamanho mínimo e máximo do quadro de funcionários conforme os dados a seguir:

- Mão-de-obra disponível atualmente (inicial) =  $Emp_0 = 50$  funcionários
- Máximo de contratações por período =  $Ad_{\max} = 5$  funcionários
- Máximo de dispensas por período =  $Di_{\max} = 5$  funcionários
- Quadro mínimo de funcionários por período =  $Emp_{\min} = 25$  funcionários
- Quadro máximo de funcionários por período =  $Emp_{\max} = 100$  funcionários

A jornada de trabalho diária é de 8 horas, e são considerados 22 dias úteis de trabalho em todos os períodos de planejamento. O tempo necessário para se produzir 1 unidade agregada do produto é 4 horas. É permitida a realização de horas extras, desde que não excedam o limite ( $Hx_{\max}$ ) de 500 horas por período. Para calcular a **capacidade de produção disponível** (em unidades) de um período, precisamos da mão-de-obra disponível nesse período.

De forma genérica, a capacidade de produção disponível de um período  $t$  será dada por:

$$Cap1 = \frac{(Emp_t \times 8 \times 22 + Hx_t)}{4} = 44Emp_t + 0,25Hx_t$$

Onde:

- $Emp_t$  = mão-de-obra disponível no período  $t$
- $Hx_t$  = horas extras realizadas no período  $t$

Observe que esse cálculo implica que a produtividade durante as horas extras não sofre alterações.

A **disponibilidade da mão-de-obra** está sujeita às contratações e demissões do período. A restrição a seguir garante a continuidade do fluxo de funcionários ao longo dos períodos:

$$Emp_t = Emp_{t-1} + Ad_t - Di_t$$

onde:

- $Emp_{t-1}$  = mão-de-obra disponível no período anterior ( $t-1$ )
- $Ad_t$  = número de funcionários admitidos no período  $t$
- $Di_t$  = número de funcionários dispensados no período  $t$

A produção,  $P_t$ , de cada período deve ser menor ou igual à capacidade de produção do período:  $P_t \leq Cdisp_t$  ou ainda  $P_t \leq Emp_t + 0,25Hx_t$

Para garantir a **continuidade dos estoques**, impomos a restrição:

$$EF_t = EF_{t-1} + P_t - d_t$$

Onde:

- $E_t$  = estoque ao final do período  $t$
- $EF_{t-1}$  = estoque final do período anterior ( $t-1$ )
- $P_t$  = produção do período  $t$
- $d_t$  = demanda do período  $t$

Suponha que o custo de estoque incida diretamente sobre o estoque ao final do período (vimos que, quando os estoques inicial e final do plano são iguais, isso é equivalente a incidir sobre o estoque médio).

O estoque de cada período não pode exceder determinado limite. Neste exemplo adotamos um limite suficientemente grande, mas em alguns casos a limitação dos estoques pode ser decorrente da área disponível para armazenagem.

$$E_t \leq E_{\max} \text{ neste exemplo, } E_{\max} = 9.999.$$

Considere os seguintes custos:

$csl$  = salário pago por funcionário por período = R\$1.200,00

$chx$  = custo da hora extra = R\$8,50

$cad$  = custo de contratar um funcionário = R\$600,00

$cdi$  = custo de demitir um funcionário = R\$900,00

$h$  = custo de estocar uma unidade por período = R\$12,00

As variáveis de decisão deste modelo são: produção ( $P_t$ ), funcionários contratados ( $Ad_t$ ), funcionários demitidos ( $Di_t$ ) e horas extras realizadas ( $Hx_t$ ).

A função objetivo é minimizar o custo total, dado por:

$$CT = \sum_{t=1}^n (csl Emp_t + chx Hx_t + cad Ad_t + cdi Di_t + h EF_t)$$

Sujeito às restrições:

$$Emp_t = Emp_{t-1} + Ad_t - Di_t$$

$$P_t \leq 44 Emp_t + 0,25 Hx_t$$

$$EF_t = EF_{t-1} + P_t - d_t$$

$$Emp_t \geq Emp_{\min}$$

$$Emp_t \leq Emp_{\max}$$

$$Ad_t \leq Ad_{\max}$$

$$Di_t \leq Di_{\max}$$

$$Hx_t \leq Hx_{\max}$$

$$EF_t \leq EF_{\max}$$

$$P_t, Hx_t, EF_t, Ad_t, Di_t \geq 0$$

$$t \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$$

A lógica de formulação do problema é a mesma apresentada no Exemplo 6.4.

Neste exemplo, novamente utilizamos o suplemento Solver, do Excel. A solução encontrada, assim como a organização dos dados na tabela, podem ser visualizados na Tabela 6.10.

### 6.3.6.3 Outras técnicas

Na maioria das empresas, a técnica que prevalece é a experiência dos planejadores na elaboração dos planos. Alguns outros métodos matemáticos já foram propostos, como a Regra de Decisão Linear (Holt *et al.*, 1960), que utiliza funções de custo quadráticas, mostrando-se complexa demais para aplicações industriais. Esses foram desenvolvidos numa época em que os computadores eram raros nas empresas e não existiam otimizadores de programação matemática eficientes e fáceis de usar como hoje. Portanto, tais métodos não têm mais interesse prático e, por isso, não são comentados aqui.

Exceto em grandes empresas de petróleo e de energia elétrica, o uso de programação matemática para planejamento agregado ainda não é muito disseminado. As principais razões para isso parecem ser o pouco conhecimento que gerentes têm do assunto, a falta de dados facilmente disponíveis para alimentar os modelos e o custo de desenvolvimento e manutenção dos modelos. Tais entraves tendem a se reduzir com a crescente disseminação dos sistemas integrados de informação do tipo ERP, que fazem com que os dados sejam facilmente obtidos, e com os progressos dos ambientes de modelagem e otimização, que tendem a tornar mais fácil a elaboração e a manutenção dos modelos. Vollmann, Berry & Whybark (1997) discutem mais longamente as razões que levam a essa pouca utilização.

**Tabela 6.10.** Solução obtida para o Exemplo 6.5 através de Programação Linear

Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Previsão da Demanda	2.000	1.400	1.200	1.100	2.000	1.500	1.200	1.500	1.300	2.200	2.500	2.000
<b>Capacidade disponível</b>	<b>1.980</b>	<b>1.760</b>	<b>1.540</b>	<b>1.380</b>	<b>1.380</b>	<b>1.500</b>	<b>1.380</b>	<b>1.470</b>	<b>1.690</b>	<b>2.035</b>	<b>2.125</b>	<b>2.000</b>
<b>Mão-de-Obra disponível</b>	<b>45</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>33</b>	<b>38</b>	<b>43</b>	<b>45</b>	<b>45</b>
<b>Produção</b>	<b>1.800</b>	<b>1.400</b>	<b>1.540</b>	<b>1.380</b>	<b>1.380</b>	<b>1.500</b>	<b>1.380</b>	<b>1.470</b>	<b>1.690</b>	<b>2.035</b>	<b>2.125</b>	<b>2.000</b>
<b>Demissão</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Contratação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>Horas extras</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>480</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>0</b>
<b>Estoque</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>340</b>	<b>620</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>180</b>	<b>150</b>	<b>540</b>	<b>375</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Custos												
Custo Mão-de-Obra	54.000	48.000	42.000	37.636	37.636	37.636	37.636	40.091	46.091	52.091	54.545	54.545
Custo Horas Extras	0	0	0	0	0	4.080	0	0	0	4.250	4.250	0
Custo Demissão	4.500	4.500	4.500	3.273	0	0	0	0	0	0	0	0
Custo Contratação	0	0	0	0	0	0	0	1.227	3.000	3.000	1.227	0
Custo Estoques	0	0	4.080	7.440	0	0	2.160	1.800	6.480	4.500	0	0
<b>Custo Total =</b>											<b>606.176</b>	

## ■ CASO PARA ANÁLISE PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO

A South Sails Ltda. fabrica velas para barcos, tendo uma demanda altamente sazonal, sendo as estimativas de demanda de cada período conforme a Tabela 6.11. Um planejamento está sendo realizado com o principal objetivo de fazer com que as demandas de cada período do ano sejam convenientemente atendidas. A companhia considera a possibilidade de utilizar mão-de-obra extra e, até mesmo, contratar e demitir funcionários durante o ano para fazer face à grande variação da demanda. Como os produtos são muito similares do ponto de vista de produção, decidiu-se, para efeito de planejamento, agregar todos os produtos num só, que será posteriormente desagregado no planejamento mais detalhado a ser feito para um horizonte mais curto.

Alguns dados mais relevantes foram reunidos e são apresentados a seguir.

**Tabela 6.11.** Metas de venda para o período de planejamento  
Demanda Agregada (em 1.000 m<sup>2</sup>)

MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
Dias úteis	21	21	20	23	22	21	21	19	20	22	17	19	246
Demanda	1,0	2,0	1,0	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	3,5	2,5	2,0	1,0	20,5

A companhia terá, em março anterior ao primeiro mês de planejamento (abril), 19 operários. O estoque nesse mesmo mês deverá estar muito baixo e pode ser desprezado. Existem ainda restrições que devem ser respeitadas no plano.

### Restrições:

1. A capacidade máxima de armazenagem de produto acabado é de 2.500 m<sup>2</sup>.
2. O total de horas extras utilizadas num mês não deve exceder 20% das horas regulares de trabalho.
3. Não se pode subcontratar produção, ou deixar de atender toda a demanda em cada mês.
4. O estoque ao final do horizonte de planejamento deve ser estudado, pois há opiniões de que não se deveria ter estoque nulo em abril.
5. Não se pode ficar com menos de oito operários (contando com os que estão em férias).
6. Não é possível produzir mais de 2.500 m<sup>2</sup> por mês (gargalo na máquina de corte).
7. Para efeito de férias, é necessário ter uma ociosidade de mão-de-obra de 8% sobre o total de empregados/mês do período de planejamento.

### Custos:

Mão-de-obra regular:	\$500 por empregado por mês, incluindo todos os encargos trabalhistas para uma jornada (turno único) equivalente a 8 horas úteis por dia (o número de dias úteis em cada mês é dado na Tabela 6.13).
Mão-de-obra extra:	Acréscimo de 50% sobre o preço da hora regular, incluindo encargos trabalhistas, ou seja, \$4,69 por hora.
Contratação:	\$500,00 por empregado contratado.
Demissão:	\$1.000,00 por empregado.
Manutenção de estoques:	3,0% mês sobre o valor da mercadoria (\$30/m <sup>2</sup> ), incluindo custo de oportunidade do capital, seguro e manipulação.

### Produtividade:

A mão-de-obra variável necessária para se produzir 1.000 m<sup>2</sup> é de 800 homens-horas.

Numa reunião da gerência foram propostas três estratégias, a saber:



### 1. Produção com mão-de-obra constante.

Contratar apenas uma vez no ano e demitir no máximo um empregado por mês. Absorver as flutuações de demanda com estoque de antecipação e mão-de-obra extra.

### 2. Ajuste de mão-de-obra.

Absorver a variação da demanda contratando e demitindo mão-de-obra livremente, mas limitando o estoque final de cada mês ao mínimo estritamente necessário.

### 3. Custo mínimo.

Utilizar, se necessário, todas as formas possíveis de ajustar a produção à demanda de forma a obter o menor custo total possível, mas limitando as demissões a dois empregados por mês.

Os diretores responsáveis pela aprovação do plano ainda não chegaram a uma conclusão. A Política 1 é defendida pelo diretor de RH, argumentando que contratar e demitir é muito caro e prejudica o relacionamento da empresa com os empregados, além de a utilização de horas extras agradar os empregados. Segundo ele, a empresa naturalmente perde empregados por demissão voluntária, aposentadoria ou por ser obrigada a demitir por “justa causa”, sendo esse nível de demissão considerado aceitável por todos. O diretor financeiro acha que a Política 2 é melhor porque existe claramente um período de demanda baixa; ele considera que manter estoque é aumentar o custo financeiro e criar problemas de financiamento do capital de curto prazo, sendo o ajuste da mão-de-obra às necessidades de produção a forma mais econômica de se tratar o problema.

Como apenas o diretor industrial conhece programação matemática, ele sugeriu a Proposta 3 que, segundo ele, procura equilibrar os pontos de vista dos outros dois diretores. A Proposta 3 foi recebida com desconfiança porque os demais diretores e gerentes acham que, em vista da existência de muitas variáveis, é muito difícil obter uma solução que tenha o menor custo total. O diretor financeiro disse que ele mesmo, com a ajuda do seu contador, já havia tentado fazer isso com uma planilha eletrônica e que não tinham conseguido uma solução muito melhor do que a da Política 2.

O diretor industrial pediu que você analisasse o problema e comparasse, do ponto de vista econômico, as três propostas de modo que ele possa argumentar por uma política não extrema como as duas primeiras propostas. Pediu, ainda, que você indique claramente qual a proposta que ele deve defender na próxima reunião de orçamento e lhe dê os argumentos básicos para defendê-la.

Prepare um **sumário gerencial** (máximo de duas páginas) descrevendo a essência do problema, as premissas não óbvias e o escopo da abordagem dada, concluindo com uma avaliação (sucintamente justificada) das propostas ou proposta mais indicada pela análise, além de sugestões adicionais para a tomada de decisão. Prepare, também, um **relatório técnico** com conteúdo suficiente para que uma pessoa com a mesma formação que você possa entender o problema e a análise feita.

No relatório técnico, faça um gráfico de demanda acumulada e produção acumulada para cada política, no estilo da Figura 6.3. Note que se você fixar o estoque inicial e deixar livre o estoque final, a otimização irá indicar estoque final zero. Mas isso porque o modelo ignora que haverá demanda no ano seguinte. Comente qual seria o estoque inicial ótimo se o ciclo de demanda dado se repetisse indefinidamente. Para isso, em vez de fixar o estoque inicial no valor dado, faça o estoque final igual ao estoque inicial e otimize. Depois, fixe o estoque final no valor encontrado por essa otimização, o inicial no valor inicial dado. Faça a mesma coisa para ver qual o número ótimo de empregados no final do período.

Lembre-se de que o propósito de um modelo de otimização não é meramente encontrar uma solução matematicamente ótima, mas, sim, obter maior entendimento do problema de forma a fundamentar melhores decisões. Sendo assim, uma interpretação da solução ótima é absolutamente essencial. Tente explicar a lógica da solução ótima gerada pelo modelo. Neste exercício, assim como na prática, os resultados numéricos, em si mesmos, terão muito pouco valor; são as interpretações e as conclusões da análise que irão definir a qualidade do trabalho.

**Sugestões:**

A análise só é viável utilizando um modelo de programação linear, mas isso não quer dizer que você precise de conhecimento prévio desse assunto. Se você conhece bem algum software para solução de programação linear, pode usá-lo, mas, como você terá de fazer outros cálculos e apresentar os resultados em tabelas, o Solver do Excel, ou outro otimizador de planilha, é, de longe, o mais conveniente.

Se você já conhece programação linear, pode fazer algumas análises adicionais, examinando os custos reduzidos e os valores duais.

**6.4 DESAGREGAÇÃO E PROGRAMAÇÃO MESTRE DA PRODUÇÃO (MPS)**

No planejamento agregado, determinamos os recursos comuns que estarão disponíveis para a produção em cada período do horizonte de planejamento, não só a mão-de-obra, conforme visto nos exemplos anteriores, mas também outros recursos como os materiais mais importantes e cuja obtenção exige grande antecipação para fechamento de contratos de fornecimento. Para isso, utilizamos a demanda agregada para famílias de produtos representadas por quantidades equivalentes de um único produto ou de um produto sintético. No entanto, nem todos os recursos necessários estão contemplados. Faltam ainda os recursos que, por só serem utilizados por alguns poucos (ou um único produto), logicamente não podem ser tratados no planejamento agregado, ou seja, cujas necessidades dependem dos produtos e até dos modelos que os clientes desejam. Para esses recursos (geralmente matérias-primas e componentes) é necessário um **planejamento desagregado**.

O planejamento desagregado leva em conta a capacidade disponível (resultante do planejamento estratégico e do planejamento agregado) e a distribui entre os vários produtos finais de acordo com os **pedidos firmes** já em carteira e com a demanda prevista para um futuro bem mais próximo. Esse horizonte, em geral mais curto (normalmente, menos do que um trimestre), decorre do fato de que, já estando os contratos de fornecimento fechados, os fornecedores reservam capacidade para atender a empresa contratante, o que lhes permite oferecer prazos bem menores (dias ou semanas). Nesse planejamento, que se situa ainda no nível tático, mas já próximo do nível operacional, considera-se a capacidade disponível numa escala de tempo mais fina, enxergando-se um período (também conhecido como *time bucket*) que normalmente é uma semana (veja o Capítulo 7). Com o horizonte mais curto, já existem pedidos firmes dos clientes.

Esse processo inicial do planejamento desagregado é geralmente conhecido como **desagregação da capacidade**. Existem propostas de processos formais para o processo de desagregação (para detalhes, veja Bitran & Tirupati, 1993), mas, geralmente, como, dependendo da empresa e até da conjuntura dos problemas envolvidos, aspectos muito diversos podem entrar em jogo, as empresas geralmente fazem essa desagregação de modo informal em reuniões mensais, em geral. Nessas reuniões é comum participarem gerentes de produção, de logística e de vendas. O pessoal de vendas informa o que pretendem vender em cada semana; o pessoal de logística, o que têm em estoque e em trânsito, e os gerentes de produção, a capacidade efetivamente disponível em cada semana (levando em conta as necessidades de manutenção, materiais, a escala de férias e licenças etc.). Discutem os dados e as opções viáveis e desejáveis até chegarem a uma decisão que se torna a base de toda a programação da produção.

Uma vez decidido quanto da capacidade agregada disponível será alocada a cada produto final e a cada semana, ou outro período de desagregação, pode-se, então, levando-se em conta os estoques existentes e os pedidos em carteira, planejar a produção de cada produto em cada semana. Isso permitirá que na etapa seguinte, o MRP, sejam planejados os recursos mais específicos necessários para esses produtos, conforme será visto no Capítulo 7. Esse planejamento desagregado em produtos finais<sup>8</sup> é geralmente chamado de **programação (ou planejamento) mestre da produção** (*master production schedule – MPS*). O objetivo dessa programação é, a partir dos estoques disponíveis de pro-

<sup>8</sup> Veremos adiante que nem sempre o programa mestre da produção é feito para os produtos finais.

duto final, dos pedidos firmes já em carteira, das vendas acordadas na reunião de desagregação e, ainda, do *lead time* para produção e da política de determinação dos lotes de produção, determinar quando e quanto deverá ser feito de cada produto final.

Durante a elaboração do programa mestre da produção é necessário verificar se a capacidade que foi disponibilizada através do planejamento agregado é suficiente para atender às necessidades de cada produto em cada período de tempo (agora menor). A verificação da capacidade e as alterações no programa de produção, eventualmente necessárias para redistribuir, ou reduzir, a carga de produção onde houver excesso sobre a capacidade disponível, são feitas no **planejamento aproximado da capacidade** (RCCP – *rough cut capacity planning*), que será abordado na Seção 6.3.5.

O passo seguinte do planejamento é, sabendo o que é necessário para produzir cada produto final e quanto tempo é necessário para se obter cada um desses recursos, calcular quanto e quando se deve fabricar, ou comprar, de cada material. Isso é feito através do planejamento de necessidades de materiais, ou MRP, que será visto em detalhes no Capítulo 7.

Os demais recursos (mão-de-obra, equipamentos, instalações etc.) podem também ser calculados de maneira similar aos materiais. Ou, seja, assim como a necessidade de materiais é calculada a partir de uma lista de materiais, a necessidade de recursos para transformação (oficinas ou máquinas mais críticas) pode ser detalhadamente calculada a partir de um perfil de recursos, ou seja, do que a produção de cada item exige dos recursos de produção. Esse cálculo e sua confrontação com a capacidade efetivamente disponível nos recursos são feitos através do planejamento das necessidades de capacidade (CRP). Caso as capacidades de recursos disponíveis não sejam suficientes, o plano obtido através do MRP terá de ser revisto (antecipando a produção para períodos com ociosidade, se houver algum, ou atrasando as datas de entrega prometidas). O CRP é abordado com detalhes no Capítulo 7.

O planejamento através do MRP termina com a liberação de ordens de produção ou de compra. A partir daí, todos os recursos já devem estar disponíveis. As decisões são de curto e curtíssimo prazo e constituem o nível de controle operacional, também chamado de controle de chão de fábrica.

#### 6.4.1 Desagregação

Conforme vimos anteriormente, à medida que avançamos no horizonte de planejamento, as demandas previstas passam a ser mais detalhadas, e algumas até mesmo se tornam pedidos firmes. Neste momento, é possível saber exatamente que tipo de produto específico de determinada família será vendido. O planejamento da produção precisa absorver essa informação em termos de produtos individuais e períodos menores de planejamento (por exemplo, semanas). Assim, a capacidade e a demanda que eram definidas para o total do mês e para todos os produtos, serão desagregação em alocações aos produtos individuais e às semanas do mês. A Tabela 6.12 traz um exemplo de desagregação:

**Tabela 6.12.** Exemplo de desagregação da demanda prevista

MESES	JANEIRO				FEVEREIRO			
	1	2	3	4	5	6	7	8
SEMANAS								
Capacidade Disponível	450				740			
Cadeiras de ripas	30	30	30	30	35	35	35	35
Cadeiras de copa					60	60	60	60
Cadeiras de escritório	50	80	100	100	120	80	80	80

A desagregação da capacidade disponível (que foi providenciada em função do plano agregado) é o insumo básico da **programação mestre da produção**, ou **plano mestre de produção**, ou simplesmente, *MPS* (*Master Production Schedule*). Essa desagregação fornece as metas de vendas para o MPS. O MPS é o elo entre o planejamento tático (plano agregado) e o planejamento operacional (plano de necessidades de materiais, MRP) da produção, conforme ilustrado pela figura apresentada no início deste capítulo (visão geral do PCP).

Cabe aqui salientar que, na realidade, a capacidade disponível para desagregação não é exatamente a que foi determinada no plano agregado. No plano agregado é decidida a capacidade que se deveria ter para atender a demanda agregada futura e, em função dele, são feitas contratações, demissões, são fechados contratos com fornecedores, levantados recursos financeiros e tudo mais que deve ser providenciado com antecedência para se ter essa capacidade. Entretanto, entre a decisão do planejamento agregado e a execução da desagregação, vários imprevistos normalmente ocorrem. Por exemplo, pode ter havido uma revisão na previsão levando a um aumento nas contratações, ou pode não ter sido possível contratar todo o fornecimento de material que se pretendia. De qualquer forma, isso geralmente não é grande problema. O planejamento agregado é feito com base em metas de vendas (baseadas em previsões) que não são exatamente as demandas que ocorrerão. Portanto o sistema deve ter flexibilidade suficiente para acomodar essas diferenças, tanto nas demandas, quanto nas capacidades.

**6.4.2 O programa mestre da produção**

Para elaborar o programa mestre de produção de determinado produto, as seguintes entradas são necessárias:

- **Estoque inicial do período anterior** (*on-hand*), que é a quantidade real disponível em estoque, resultante do período anterior.
- **Previsão de demanda desagregada** por período de planejamento, como visto anteriormente na Seção 6.4.1.
- **Pedidos firmes de clientes** (*firm orders*) por período de planejamento, que são as quantidades confirmadas ou comprometidas. Normalmente, essa informação só existe para os períodos iniciais do horizonte de planejamento do MPS. Isso porque os clientes normalmente não fazem seus pedidos com muito mais antecedência do que o prazo de entrega dado pelo fornecedor. Assim, pedidos para um futuro muito mais distante do que o prazo de entrega são raros.

Como produto da programação mestre, temos:

- **Estoque projetado** por período de planejamento. Com base nos estoques iniciais de cada período, nas previsões e/ou pedidos firmes, e nas necessidades de produção, pode-se projetar estoque de cada período. Estoques mínimos ou estoques de segurança podem ser configurados para que o MPS sempre os considere no programa.
- **Recebimento do MPS.** A partir dos estoques projetados, pode-se estabelecer em que períodos será necessário receber para ressuprir esses estoques.
- **Disponível para prometer** (*available-to-promise, ATP*). Também conhecido como estoque não-comprometido, permite à área de vendas (marketing) fazer promessas de venda realistas, ou seja, que podem ser cumpridas segundo o plano de produção.

O registro do MPS pode ser feito através de planilhas de cálculos, apesar de que, atualmente, a grande maioria dos softwares tipo ERP/MRP II já incorpora essa lógica e também outras funções complementares. A Tabela 6.13 traz um exemplo de registro do MPS para *n* períodos de planejamento:

**Tabela 6.13.** Registro básico do MPS

PERÍODOS	1	2	3	4	5	...	<i>n</i>
Previsão de demanda							
Pedidos firmes							
Estoque projetado							
Recebimento do MPS							
Disponível para prometer (ATP)							

Para ilustrar a lógica de preenchimento do registro MPS, vamos ver um exemplo.



Isto indica que, para o primeiro período, não é necessário receber, pois o estoque inicial absorve o consumo esperado para o período. Já na segunda semana, o estoque projetado negativo indica que será necessário receber material para atender o consumo esperado para o período (no caso a previsão de demanda, pois ela supera os pedidos firmes). Quanto devemos planejar receber depende da política de estoques adotada.

Vamos supor que a produção de cadeiras de escritório seja feita em lotes de 200 unidades. Adicionaremos então 200 unidades na linha “Recebimento do MPS”, no período 2. Imediatamente, recalculamos o estoque projetado desse período, que passa a ser  $5 + 200 - 80 = 125$  unidades. Se prosseguirmos com o cálculo dos estoques projetados, teremos para o período 3,  $125 + 0 - 100 = 25$  (não há necessidade de receber). Já para o período 4, com estoque projetado negativo, teremos de receber um novo lote.

Estoque inicial = 70	Lote de produção = 200							
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Previsão de vendas	50	80	100	100	120	80	80	80
Pedidos firmes	65	60	25	5	2			
Estoque projetado	5	125	25	-75				
Recebimento do MPS		200						

Após preencher o registro MPS para todo o horizonte teremos:

Estoque inicial = 70	Lote de produção = 200							
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Previsão de vendas	50	80	100	100	120	80	80	80
Pedidos firmes	65	60	25	5	2			
Estoque projetado	5	125	25	125	5	125	45	165
Recebimento do MPS		200		200		200		200

O resultado desse procedimento de cálculo é o programa de recebimentos do MPS e o estoque projetado para cada período da programação. A partir dessa programação, é possível determinar o estoque disponível para prometer (ATP).

Até agora, determinamos quando e quanto se deseja receber em cada período futuro. Entretanto, para o planejamento da produção é importante saber quando deve ser liberada a ordem de fabricação. Isso é tratado no MPS acrescentando-se uma linha “Início do MPS”. Essa linha nada mais é do que a linha “Recebimento do MPS” adiantada do *lead-time* de produção. Supondo que, neste exemplo, o *lead-time* seja uma semana, teremos tal linha como a seguir.

Estoque inicial = 70	Lote de produção = 200							
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Previsão de vendas	50	80	100	100	120	80	80	80
Pedidos firmes	65	60	25	5	2			
Estoque projetado	5	125	25	125	5	125	45	165
Recebimento do MPS		200		200		200		200
Início do MPS	200		200		200		200	

### 6.4.3 Disponibilidade para vendas (ATP)

Da mesma forma que, do MPS, o que mais interessa para o PCP são as linhas “Recebimento do MPS” e “Início do MPS”, pois são elas que dizem respeito ao tempo e às quantidades de produção, o que mais interessa ao pessoal de vendas é, a cada instante, quanto de material eles dispõem para vender segundo o MPS; ou seja, o que há de “Disponível para prometer”. Isso é uma função fundamental do MPS, qual seja: “Criar um programa de produção e de vendas realista que seja coerente com

as informações disponíveis. A tal plano devem aderir tanto a área de Produção quanto de Vendas, a fim de garantir a coerência de suas ações promovendo o atendimento aos clientes nas quantidades e datas prometidas e, também, reduzindo os estoques e evitando mudanças nefastas nos planos de produção.

O estoque disponível para prometer é a porção do estoque e dos recebimentos futuros que não está comprometida para clientes. À medida que o tempo passa, novos pedidos (firmes) são fechados pela equipe de vendas, “consumindo” a previsão. O ATP de um determinado período representa a quantidade que, de acordo com o programa de produção, a equipe de vendas pode prometer aos seus clientes entregar em cada período futuro.

Para entender melhor, é necessário considerar o ATP incremental, ou seja, quanto cada recebimento gera de disponibilidade para prometer, até que o próximo recebimento do MPS esteja disponível. Portanto, só faz sentido calcular o ATP no instante inicial do plano, e nos períodos em que ocorre produção. Entretanto, em qualquer período, o que está disponível é o ATP acumulado, que auxilia a equipe de vendas a fornecer prazos realistas.

Para calcular o ATP do primeiro período, vamos subtrair do estoque inicial todos os pedidos firmes até o período 1 (pois o próximo recebimento ocorre no período 2). Portanto, a  $ATP_1$  será  $70 - 65 = 5$ .

<b>Estoque inicial = 70</b>	<b>Lote de produção = 200</b>							
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Previsão de vendas	50	80	100	100	120	80	80	80
Pedidos firmes	65	60	25	5	2			
Estoque projetado	5	125	25	125	5	125	45	165
Recebimento do MPS		200		200		200		200
<b>Disponível para prometer (ATP)</b>	<b>5</b>							

Para calcular o ATP do segundo período, vamos subtrair do lote a ser recebido nesse período todos os pedidos firmes (compromissos) até o período 3 (pois no período 4 ocorrerá novo recebimento).

$$ATP_2 = 200 - 60 - 25 = 115.$$

<b>Estoque inicial = 70</b>	<b>Lote de produção = 200</b>							
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Previsão de vendas	50	80	100	100	120	80	80	80
Pedidos firmes	65	60	25	5	2			
Estoque projetado	5	125	25	125	5	125	45	165
Recebimento do MPS		200		200		200		200
<b>Disponível para prometer (ATP)</b>	<b>5</b>	<b>115</b>						

Seguindo a mesma lógica, o cálculo do ATP do quarto período será:  $ATP_4 = 200 - 5 - 2 = 193$  e do sexto período será:  $ATP_6 = 200 - 0 - 0 = 200$ .

<b>Estoque inicial = 70</b>	<b>Lote de produção = 200</b>							
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Previsão de vendas	50	80	100	100	120	80	80	80
Pedidos firmes	65	60	25	5	2			
Estoque projetado	5	125	25	125	5	125	45	165
Recebimento do MPS		200		200		200		200
<b>Disponível para prometer (ATP)</b>	<b>5</b>	<b>115</b>		<b>193</b>		<b>200</b>		<b>200</b>

É fácil verificar que, no curto prazo, a maior parte do estoque (ou dos recebimentos futuros) está comprometida com pedidos firmes, havendo pouca disponibilidade para novas vendas. Conforme avançamos no tempo, há menos material comprometido em pedidos firmes e mais para atender às vendas futuras, conforme ilustra a Figura 6.4.

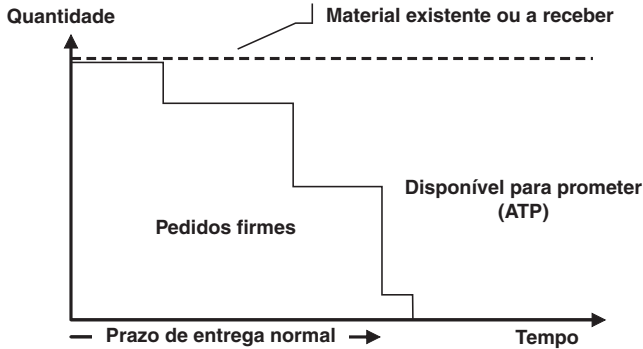


Figura 6.4. Relação entre pedidos firmes e ATP.

Como mencionado anteriormente, a visualização do ATP acumulado ao longo dos períodos auxilia no processo de vendas, fornecendo informações para a equipe de vendas prometer aos clientes prazos e quantidades realistas. A tabela a seguir ilustra o ATP acumulado como uma nova linha no registro MPS.

Estoque inicial = 70	Lote de produção = 200							
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Previsão de vendas	50	80	100	100	120	80	80	80
Pedidos firmes	65	60	25	5	2			
Estoque projetado	5	125	25	125	5	125	45	165
Recebimento do MPS		200		200		200		200
Início do MPS	200		200		200		200	
Disponível para prometer (ATP)	5	115		193		200		200
ATP acumulado	5	120	120	313	313	513	513	713

Esse quadro mostra o resultado final do programa mestre da produção, incluindo o “Início do MPS”, que não é de muito interesse para Vendas. Para ilustrar como o ATP acumulado pode auxiliar, suponha que a equipe de vendas receba um pedido de 115 unidades, para entrega o mais rápido possível. Suponha também que não seja possível “parcelar” a entrega, ou seja, as 115 unidades devem ser entregues em um só embarque, e que não seja mais possível alterar o programa de produção, pois os recursos de produção já estão determinados pela antecedência necessária e pelo fato de não ser possível gerenciar um programa de produção que muda com muita frequência.

Observando diretamente a linha “ATP acumulado”, concluímos que a entrega poderá ser realizada a partir da segunda semana, pois o ATP acumulado nesta é de 120 unidades, o que atende a venda realizada. Adicionando-se esse novo pedido de 115 unidades na segunda semana no registro MPS, temos:



Estoque inicial = 70	Lote de produção = 200							
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Previsão de Vendas	50	80	100	100	120	80	80	80
Pedidos firmes	65	175	25	5	2			
Estoque projetado	5	30	-70	30	-90	30	-50	70
Recebimento do MPS		200		200		200		200
<b>Disponível para prometer (ATP)</b>	5	0		193		200		200
<b>ATP acumulado</b>	5	5	5	198	198	398	398	598

Repare que, ao atualizarmos o registro MPS, em alguns períodos o estoque projetado é negativo. Isso indica que os pedidos firmes consumiram mais unidades do que a previsão indicava e que, apesar de haver material para honrar todos os pedidos firmes, caso as previsões se concretizem, haverá atraso no atendimento, a não ser que a linha “Recebimento do MPS” seja alterada, ou seja, uma reprogramação seja feita e novos lotes sejam produzidos.

Observe que, em nosso exemplo, o pedido máximo que poderia ser absorvido na semana 2 era de 120 unidades, visto que este era o ATP acumulado nesse período. Analogamente, após a incorporação do novo pedido, o pedido máximo que pode ser absorvido na semana 4 será de 198 unidades. O ATP cumulativo nunca deve assumir valores negativos. Isso significaria que foi prometido mais do que os estoques e o MPS prevêm de produção.

#### 6.4.4 Execução e controle do plano de produção e das vendas

Na elaboração do planejamento agregado, comentou-se que a estimativa das demandas mensais eram, em alguns casos, essencialmente metas de vendas, estabelecidas pela área de Marketing e Vendas e aprovada pela alta gerência. Ao desagregar as previsões para períodos menores e por produtos finais são revistas e tratadas como metas de vendas. Desta forma, podemos dizer o plano de produção foi norteado pelo plano de vendas projetado para o horizonte do MPS.

Uma vez elaborado e aprovado, o MPS se torna um compromisso entre Produção e Vendas passando a nortear a produção através das indicações para liberação de ordens e das entregas programadas e, também, a nortear as vendas pelo estoque disponível para prometer, o ATP, como vimos no exemplo anterior. Então, o MPS é que deve coordenar a produção e as vendas garantindo uma coerência entre ações dessas duas áreas que frequentemente, por falta de um plano comum, se mutuamente se acusam quando ocorrem excessos ou faltas de produtos. Os planos de produção e vendas estão intimamente relacionados, pois o plano de produção é feito com base no que Vendas (através de suas metas) diz o que irá necessitar e Produção informa a Vendas (através do ATP) quanto está disponível para vender em qualquer período do horizonte.

É importante distinguir entre o tempo de planejamento e o tempo de execução do plano. No tempo de planejamento, os estoques projetados jamais devem ficar abaixo do estoque de segurança estabelecido. Em tempo de execução o estoque projetado é apenas um indicador da evolução da produção e vendas reais com o que estava planejado. É claro que se o executado começar a divergir muito do planejado é porque há algo de errado no plano, nos registros, na execução, ou em mais de um desses.

#### 6.4.5 Planejamento aproximado da capacidade, RCCP

Embora um plano se mostre viável em termos de estoques projetados e atendimento aos pedidos firmes, a execução do plano ainda pode ser inviável ao considerarmos a capacidade dos recursos de produção. No nível do MPS, essa verificação de capacidade é conhecida como **planejamento aproximado da capacidade** (*Rough Cut Capacity Planning, RCCP*), ou ainda **cálculo de capacidade de médio prazo**. Sua função é fornecer uma avaliação inicial a respeito da factibilidade do MPS.

Para apoiar esse objetivo, o RCCP deve ser elaborado ainda de forma agregada, e nem todos os recursos de produção são considerados. Um dos fatores mais importantes da análise RCCP é que esta seja tão simples e ágil quanto a mudança de um registro no MPS. Para isso geralmente consideramos os recursos que são críticos para a produção.

A criticidade de um recurso pode ser de diversas naturezas, como por exemplo, gargalos, grupos de máquinas cujo prazo de mobilização é extenso, recursos com consumo elevado de custos e/ou tempos de *setup* muito longos, recursos cuja tecnologia é recente, com pouca informação sobre produtividade, enfim, recursos cujo processo envolva algum risco para a produção. O nível de agregação dos recursos pode ser, por exemplo, grupos de máquinas cuja tecnologia é parecida e podem executar uma mesma tarefa com pouca ou nenhuma diferença de consumo de capacidade.

Uma vez definidos os recursos críticos que serão considerados, deve-se determinar o consumo de cada produto em relação a esses recursos. No entanto, o consumo do recurso pode não ocorrer (e normalmente não ocorre) no mesmo período do MPS. Deve-se, portanto, estimar uma defasagem entre a entrega do produto e o consumo dos recursos críticos. Essa defasagem é chamada de *offset*. A combinação das informações de consumo e *offset* de cada recurso crítico por produto é o que denominamos **perfil de recursos**. A Tabela 6.13 traz um exemplo de perfil de recursos para um produto.

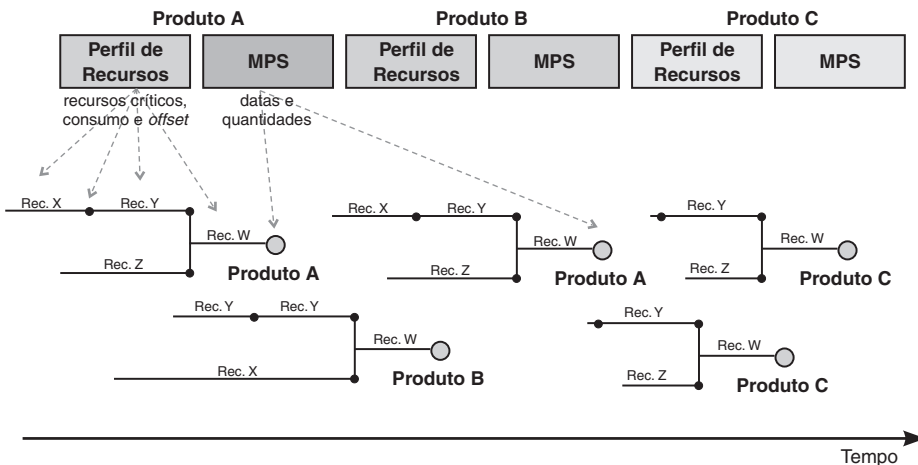
**Tabela 6.13.** Exemplo de perfil de recursos

PERFIL DE RECURSOS PARA O PRODUTO A		
Recursos Críticos	Consumo em horas	Defasagem ( <i>offset</i> ) (em semanas)
Recurso W	0,50	1
Recurso X	3,00	3
Recurso Y	0,75	2
Recurso Z	2,20	1

Note que, para elaboração do perfil de recursos, é necessária a elaboração de um “roteiro prévio” do produto e seus principais componentes, considerando apenas os recursos críticos. Em alguns ambientes de fabricação por encomenda (*engineering-to-order*), esse esforço pode não ser tão simples em função da incerteza associada à lista técnica no horizonte de tempo considerado pelo MPS.

Para elaborar o RCCP, devemos cruzar as informações provenientes do MPS de cada produto com o seu perfil de recursos, confrontando-as com a capacidade dos recursos.

Esquemáticamente, para uma fábrica que produza os produtos A, B e C, e cujos recursos críticos são W, X, Y e Z, teríamos:



**Figura 6.5.** Combinação entre datas do MPS e perfis de recursos.

E o resultado do cálculo do RCCP seria:

Cálculo RCCP		Consumo necessário por período (produtos A + B + C) (em horas)					
Recursos Críticos	Capacidade semanal* (horas)	1	2	3	4	5	6
Recurso W	306	273	295	330	341	432	568
Recurso X	204	193	159	134	318	273	227
Recurso Y	102	80	84	91	103	170	68
Recurso Z	510	341	500	557	523	477	455

\* capacidade efetiva

Cálculo RCCP		Consumo necessário por período (produtos A + B + C) (em % da capacidade)					
Recursos Críticos	Capacidade semanal*	1	2	3	4	5	6
Recurso W	100%	89%	97%	108%	111%	141%	186%
Recurso X	100%	95%	78%	66%	156%	134%	111%
Recurso Y	100%	78%	82%	89%	101%	167%	67%
Recurso Z	100%	67%	98%	109%	102%	94%	89%

\* capacidade efetiva

Esse resultado nos informa os “estouros” de capacidade por período de planejamento, que é muito comum ser observado em termos do percentual de capacidade efetiva. Nas semanas 3, 4, 5 e 6, por exemplo, haverá incapacidade de cumprir o MPS. As alternativas para resolver esses problemas são similares às técnicas adotadas no planejamento agregado, como por exemplo, alteração das datas do MPS, horas extras, subcontratação etc.

### 6.4.6 Implementação e execução

O processo de revisão do MPS é constante. Uma vez elaborado, o plano deve ser viável em termos de custos, capacidade e prazo. Só então o programa mestre de produção deve ser autorizado e suas saídas transferidas para o MRP. Caso não seja viável, deve ser retrabalhado, e, se necessário, até mesmo o plano agregado deve ser revisto, incorporando novas informações ou cenários.

Nas empresas, o responsável pela elaboração e atualização do programa mestre de produção é conhecido como **planejador mestre**. Isso não quer dizer necessariamente que todas as decisões a respeito da programação são tomadas por essa pessoa, mas sim que a gerência e visão crítica das informações relevantes (entradas e saídas do MPS) estão sob seu controle.

Também fazem parte das atividades do planejador mestre: elaboração de relatórios gerenciais para alta direção; análise crítica da projeção de demanda fornecida pela equipe de vendas, análise de cenários alternativos (subcontratação, horas extras, estoques); validação das informações do MPS para o MRP; divulgação do estoque disponível para prometer (ATP) para equipe de vendas; análise de capacidade (RCCP); análise de disponibilidade de materiais (MRP); e o realinhamento entre o MPS e o plano agregado, sempre que necessário. Apesar de esse cargo ser atribuído muitas vezes a um só indivíduo, pode-se perceber claramente que envolve diversas áreas da empresa, compostas por grupos de pessoas com diferentes perfis e objetivos muitas vezes conflitantes.

#### 6.4.6.1 Período de congelamento do MPS

Assim como no plano agregado, o MPS também possui períodos de congelamento (*time fences*). Como vimos anteriormente, os custos de alterações na programação no curto prazo tendem a ser

proibitivos, e muitas variações no curto prazo geram perturbações que se propagam nos períodos subseqüentes, o que pode gerar instabilidade no sistema de produção e maior complexidade na tomada de decisão.

Em geral, subdivide-se a programação mestre em quatro estágios temporais. No primeiro estágio, relacionado ao curtíssimo prazo (dois a quatro períodos), a programação está **congelada**, e qualquer mudança é crítica e deve ser aprovada por altos níveis hierárquicos da empresa. No segundo estágio, a programação é dita **firme** por cerca de três períodos, e as alterações ainda são perturbadoras, mas em menor extensão que no primeiro. As decisões sobre mudanças estão associadas às diretorias e gerências envolvidas. No terceiro estágio, diz-se que a programação é **cheia**, pois toda a capacidade disponível foi alocada, mas mudanças são bem absorvidas sem maiores impactos. No último estágio, a programação é **aberta**, pois qualquer alteração pode ser realizada sem maiores problemas. A duração de cada estágio pode variar de acordo com o tipo de produção. A Figura 6.6 representa os períodos de congelamento:

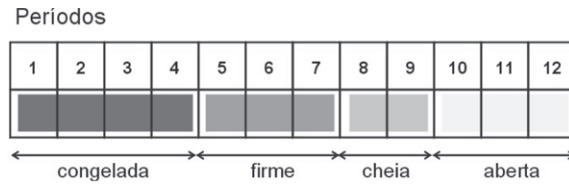


Figura 6.6. Períodos de congelamento do MPS.

#### 6.4.6.2 MPS nos ambientes produtivos

Conforme visto no Capítulo 1, os diferentes tipos de ambiente de produção podem implicar em diferentes estratégias, principalmente em função do posicionamento dos estoques ao longo do processo produtivo.

Na produção *MTS (make-to-stock)*, é possível usar as mesmas estratégias básicas adotadas no planejamento agregado – nivelada, seguidora ou mista –, desta vez para os produtos acabados. A estratégia nivelada simples geralmente leva a grande formação de estoques, sendo mais comum a adoção da estratégia mista, ou também chamada nivelada por blocos. A estratégia seguidora, por sua vez, exige grande flexibilidade do nível de produção, geralmente acompanhada por altos custos.

No ambiente de produção *ATO (assemble-to-order)*, ou montagem sob encomenda, o produto final não é conhecido até o momento de seu pedido, mas seus subconjuntos são semelhantes, o que elimina a estratégia de nivelamento, pelo menos para o produto final. Os subconjuntos podem ser estocados estrategicamente e os períodos de congelamento estabelecidos de acordo com os *lead-times* das montagens finais.

Na produção *MTO (make-to-order)*, a incerteza também está presente nos níveis de subconjuntos, restando apenas ser possível estocar no nível de matérias-primas e alguns componentes. Mais uma vez, os períodos de congelamento do MPS deverão ser equivalentes ao *lead-time* acumulado dos subconjuntos e montagens finais.

O caso extremo da incerteza é no ambiente de produção *ETO (engineering-to-order)*. Normalmente, a empresa não conhece as características do produto, nem mesmo ao nível de matéria-prima, com raras exceções para itens comuns a diversos projetos, geralmente itens comerciais. A única estratégia possível passa a ser seguir a demanda, e a extensão do período de congelamento envolve todo o escopo de fornecimento, produção e montagens do produto, razão pela qual, nesse ambiente de produção, o MPS tende a ser pouco flexível no curto e médio prazo.

## 6.5 REVISÃO DOS CONCEITOS

O próximo passo do planejamento da produção é o chamado planejamento operacional, ou planejamento das necessidades de materiais, o MRP. Neste capítulo, vimos como elaborar o plano agregado, ou planejamento tático, em termos de produtos agregados em famílias ou produtos sintéticos. Ao desdobrar o plano agregado em programação mestre da produção (desagregado) para cada produto final, elaboramos o MPS. No entanto, ainda não definimos a quantidade de matéria-prima, subconjuntos e componentes, nem tampouco a data de necessidade desses itens que compõem o produto final. As necessidades de produção do MPS representam as datas de disponibilidade do produto final e afetarão diretamente as necessidades brutas e líquidas do MRP, conforme será detalhado no capítulo seguinte, gerando as ordens de produção e compras.

### PALAVRAS-CHAVE

Planejamento agregado  
 MRP  
 MTS (*make-to-stock*)  
 ETO (*engineering-to-order*)  
 ATO (*assemble-to-order*)  
 MTS (*make-to-stock*)  
*Rough cut capacity planning* (RCCP)

### 6.7 EXERCÍCIOS

1. Quais são os três níveis de planejamento com que se envolvem os gestores de operações? Que tipos de decisão são tomados nesses vários níveis?
2. Quais as fases do planejamento de médio prazo?
3. Em que consiste o planejamento agregado? Qual é o seu propósito?
4. Por que existe a necessidade de um planejamento agregado?
5. Quais as variáveis de decisão mais comuns para o planejamento agregado em um ambiente industrial? E em um ambiente de serviços?
6. Qual a dificuldade no planejamento agregado com que se pode defrontar uma organização que oferece uma variedade de produtos e/ou serviços, dificuldade essa que não existe em organizações que oferecem apenas um produto ou serviço, ou então poucos produtos ou serviços similares?
7. Quais os *inputs* necessários para o programa mestre? Quais são os *outputs*?
8. Aplique a programação linear ao Exemplo 6.3 e tente encontrar a solução ótima para o problema do Plano I, considerando a mão-de-obra estável e os mesmos limites de produção do Exemplo 6.4.
9. Considere o seguinte registro de estoque do MPS de uma fábrica.

Item: XB43590035 Bomba de poço	Lote: 40			E.S.: 3		T.R.: 5 sems			
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Previsão	10	10	10	10	10	10	15	15	15
Pedidos	12	14	9	5		2			
Recebimentos Programados	36			45					
Estoque Projetado   3									
Recebimento MPS									
Início MPS									
Disp. p/Vendas (ATP)									
ATP Cumulativo									

- a) Complete a tabela de acordo com os dados nela contidos.
- b) Concluído o planejamento, conforme a sua tabela completada anteriormente, os seguintes pedidos foram feitos por clientes, na ordem dada a seguir. O primeiro cliente tem muita urgência e aceita entrega parcelada, mas o segundo, não. De acordo com o MPS planejado, quais as datas e as quantidades de entrega que podem ser prometidas a esses clientes? Explique como você chegou a essa conclusão.



# Planejamento das Necessidades de Materiais (MRP)

HELDER GOMES COSTA • ROGÉRIO ATEM DE CARVALHO

## ■ OBJETIVOS DE APRENDIZADO

Este capítulo apresenta os conceitos do MRP, como ele se integra ao sistema de produção, quais são suas entradas e saídas e seus procedimentos de cálculo.

Nestes procedimentos o leitor aprenderá como aplicar as árvores do produto no cálculo dos materiais e componentes necessários. Entendendo que o MRP se insere em um sistema complexo e que apresenta incertezas, as influências dessas nos cálculos serão também abordadas, bem como a formação de lotes econômicos de compra. Finalmente, será abordada a relação do MRP com a capacidade produtiva.

## 7.1 INTRODUÇÃO

A falta de materiais e insumos de produção, quando necessários, gera **problemas de não-atendimento à demanda**. Por outro lado, um estoque elevado, apesar de reduzir custos de não-atendimento, eleva os **custos de manutenção de estoque**. Faz-se então necessário planejar a disponibilização de materiais ao sistema de produção, buscando uma solução equilibrada entre custos e benefícios.

No âmbito do PCP, o MRP<sup>1</sup> busca atender às necessidades de planejamento de materiais. Ou seja: o MRP é um sistema para planejamento da necessidade de materiais que considera de forma integrada o planejamento da produção e o estoque. A Figura 7.1 destaca a integração do MRP com os demais níveis de planejamento.

O advento do computador associado à importância que ganhou a administração de estoques na década de 1960, como visto no Capítulo 5, introduziu o uso de sistemas computacionais para manipulação e controle de lista de materiais (BOM, *Bill of Materials*). Posteriormente, esses sistemas computacionais evoluíram para o MRP acompanhando o aumento da complexidade dos sistemas de gestão da produção. O MRP evoluiu para o ERP,<sup>2</sup> passando antes pelo MRP de Ciclo Fechado (*Closed Loop MRP*) e pelo MRP II. Em termos evolutivos, quando se adicionam as funções de *Supply Chain Management (SCM)* e *Customer Relationship Management (CRM)* ao ERP, temos o ERP II. A evolução desses sistemas, classificados como Enterprise Information Systems e abordados no capítulo 11, é apresentada na Figura 7.2.

Vale destacar que, apesar da existência de vários sistemas computacionais que possibilitam a implementação de modelos de PCP fundamentados no MRP e em suas evoluções (principalmente o ERP), o presente capítulo tem a intenção de apresentar os conceitos e princípios centrais do MRP, por se considerar a consolidação de conceitos mais importante do que o simples conhecimento de sistemas prontos.

---

<sup>1</sup> MRP é o acrônimo de *Materials Requirement Planning*.

<sup>2</sup> ERP é o acrônimo de *Enterprise Resources Planning*.

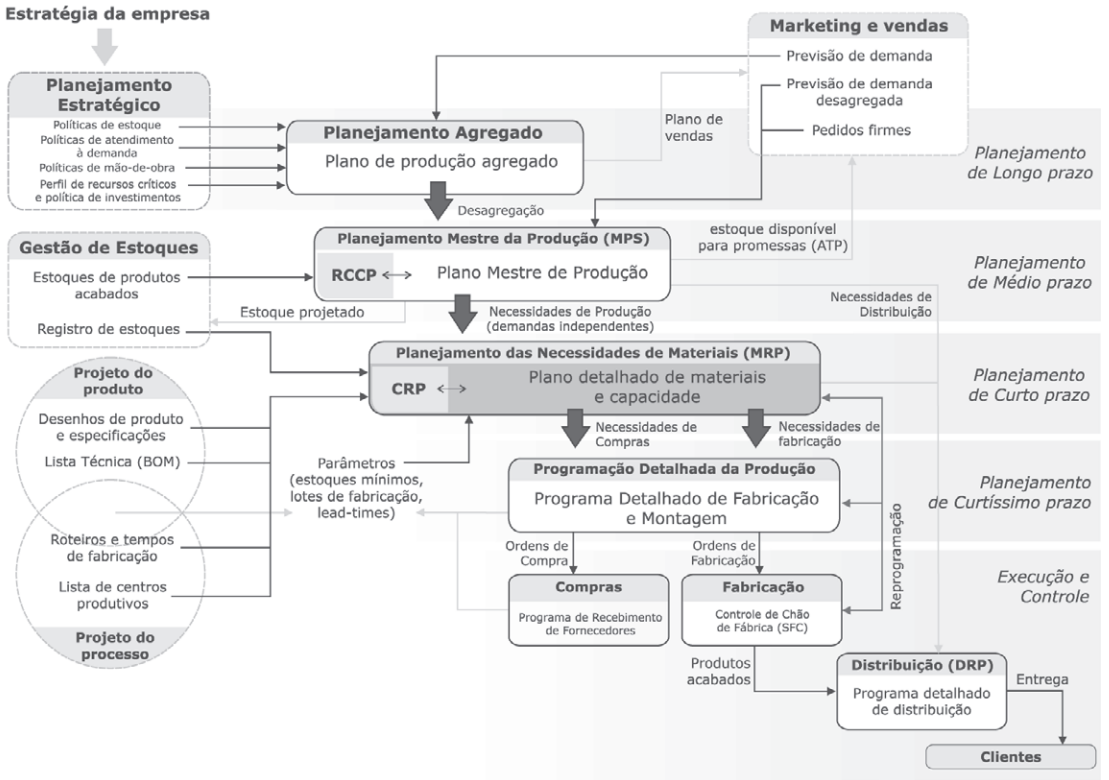


Figura 7.1. O MRP no contexto do Planejamento e Controle da Produção.

### 7.2 PRINCÍPIOS DO MRP

O MRP é um instrumento para planejamento e controle da produção, que foca a programação das necessidades de materiais a partir da demanda original proveniente do programa mestre de produção (discutido no Capítulo 4), considerando informações oriundas do suprimento (compras, recebimento e estoque). A Sigla MRP é usada em três contextos: MRP, MRP de ciclo fechado (*Closed Loop MRP*) e MRP II.

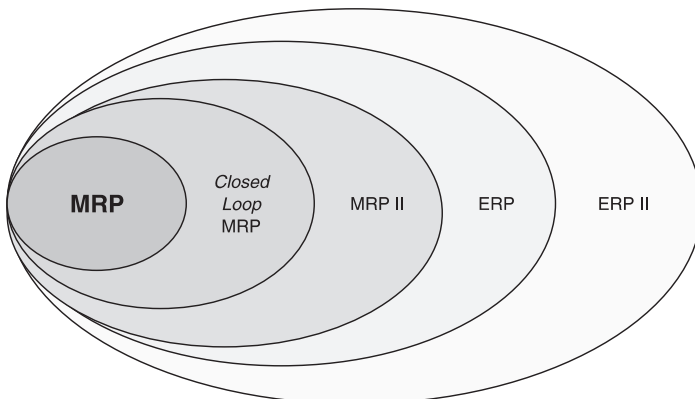


Figura 7.2. Evolução do MRP ao ERP II.



O objetivo central de qualquer sistema de gestão de materiais é garantir a disponibilidade de insumos quando estes forem necessários. O MRP busca fazê-lo mantendo níveis mínimos de estoques e programando a disponibilização dos materiais para **exatamente quando** planejada.

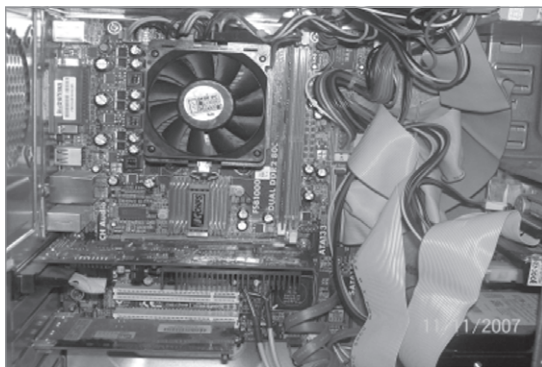
Uma das inovações introduzidas pelo MRP foi o tratamento diferenciado da gestão de estoques de subitens e matéria-prima da gestão de estoques de produtos acabados, através da identificação das demandas dependentes e independentes. A partir desse entendimento, o MRP se concentra no planejamento dos materiais necessários ao sistema de produção (demandas dependentes) e não na gestão de estoques de produtos acabados.

Além de programar a “baixa” dos itens em estoque, o MRP programa as ordens de serviço, as ordens de compra e as entregas, tendo, portanto, uma função bem mais abrangente do que a gestão de estoques pura e simples.

O MRP é especialmente recomendado para sistemas discretos de produção de produtos complexos com demanda dependente, condições em geral presentes na montagem de equipamentos e em sistemas de produção sob encomenda.

A demanda é um dos itens mais importantes na modelagem de um sistema de administração de materiais. Instabilidade de demanda em um sistema de produção pode levar a ruptura ou falência deste. Confira visto no Capítulo 2, a demanda pode ser dependente ou independente:

- **Demanda dependente** é aquela que depende da demanda de um outro produto. Por exemplo: se uma empresa produzir 10 bicicletas, então ela vai precisar de 20 rodas, 10 assentos etc. Ou seja: a demanda por rodas e assentos é dependente da demanda por bicicletas. Em geral, produtos intermediários, subitens e matérias-primas têm demanda dependente.
- **Demanda independente** é aquela que não depende da demanda de outro produto. Por exemplo: a demanda por bicicletas é independente da demanda por geladeiras. Em geral, produtos finais têm demanda independente – embora possam ter demandas estatisticamente correlacionadas com outros produtos finais.



**Figura 7.3.** A montagem da placa-mãe e dos demais componentes em um microcomputador é um exemplo de montagem de um produto complexo com uma grande quantidade de componentes e subconjuntos.



**Figura 7.4.** A montagem de um barco pesqueiro é um exemplo de fabricação sob encomenda. A montagem de produtos dessa natureza aproxima a técnica MRP de técnicas usualmente empregadas no gerenciamento de projetos, como o PERT e o CPM.



**Figura 7.5.** Uma bicicleta (demanda independente) é composta por uma grande quantidade de componentes e itens que apresentam demanda dependente.

### 7.3 INTEGRAÇÃO DO MRP AO SISTEMA DE PRODUÇÃO

A Figura 7.1, apresentada no início deste capítulo, ilustra a integração do MRP com o sistema de produção, incluindo as etapas de projeto e desenvolvimento do produto – responsáveis pela definição da estrutura do produto. Com base nessa figura é possível elaborar a Figura 7.3, que destaca as principais relações do MRP com o sistema de produção. Dessa figura observam-se as entradas e saídas do MRP.

- **Entradas do MRP:**
  - lista de materiais;
  - posição dos estoques (disponibilidade);
  - prazos de montagem de componentes.
- **Saídas do MRP:**
  - ordens de produção;
  - ordens de compra.

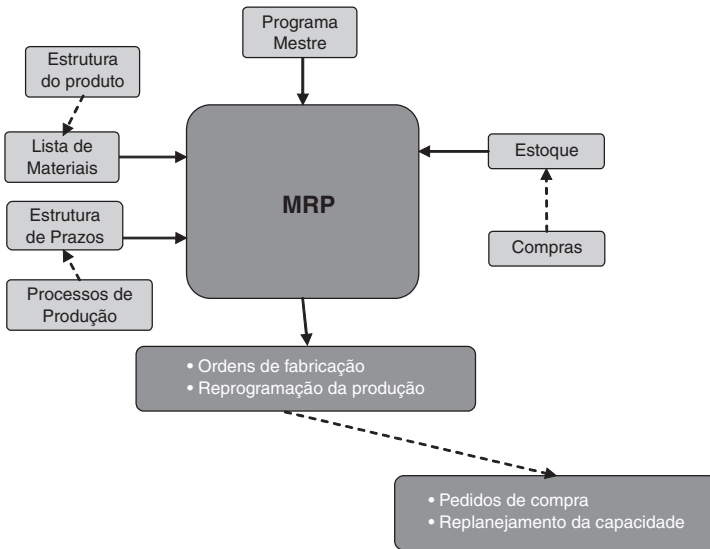


Figura 7.6. Integração do MRP com os demais sistemas de produção.

#### 7.3.1 Entradas do MRP

A seguir apresentam-se considerações sobre alguns elementos fundamentais para execução do MRP:

##### 7.3.1.1 Programa mestre de produção (MPS)

O MPS alimenta/direciona o MRP com uma programação de produtos acabados, informando quanto (quantidade) e quando (prazo) estes devem ser produzidos e entregues. Conforme já descrito no Capítulo 6, o Programa Mestre de Produção é fruto de planos que buscam atender as demandas, combinando previsões e vendas, além de considerar as restrições de produção e as estratégias e políticas da organização. Portanto, o MPS não é uma previsão de demanda, mas sim um programa de produção que busca atender as demandas estimadas. Nesse contexto, o MRP pode ser considerado como uma programação de obtenções que é alinhado ao MPS. Entenda-se obtenção por: aquisição (de matérias-primas e componentes), produção (de itens intermediários) e montagem (do produto final).

A Tabela 7.1 apresenta, a título de exemplo, um programa mestre de produção simplificado para a produção de três produtos: produtos A, B e C. Observe que o programa mestre indica *o quê, quando e quanto* o sistema deve produzir.

**Tabela 7.1.** Exemplo de programa mestre de produção

PRODUTO	(QUANDO/ QUANTO)	PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO SEMANA									
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	...
A	Quantidade	80		100		70	80		20		
B	Quantidade			100			100			100	
C	Quantidade	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

**Interpretando a Tabela 7.1.** Dentre outras informações, essa tabela indica que:

- Na semana 15 devem "estar prontas" 80 unidades do produto A e 50 do produto C.
- Na semana 17 devem "estar prontas" 90 unidades do produto A, 90 do produto B e 50 do produto C.
- Na semana 30 devem "estar prontas" 80 unidades do produto A, 90 do produto B e 50 do produto C.
- Toda semana devem ser produzidas 50 unidades do produto C.

		PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO									
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	
A	Quant.	80		90		70	80		20		
B	Quant.			90			90			90	
C	Quant.	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

### 7.3.1.2 Posição dos estoques

A modelagem de estoques informa ao MRP a disponibilidade de itens em estoque (*on hand itens*) e o planejamento de reposição do mesmo. O conhecimento dessas informações é de central importância ao planejamento das necessidades de materiais, pois influenciará diretamente na quantidade a ser produzida ou comprada dos diversos componentes

### 7.3.1.3 Estrutura do produto

A estrutura do produto define a quantidade de componentes (subconjuntos e módulos) necessários à produção de cada unidade do produto. O conhecimento da estrutura do produto, em geral uma atividade da engenharia de produto, é necessário para a elaboração de *árvores do produto* e de *listas de materiais*.

#### Árvore do produto

As árvores do produto (*product trees*) apresentam a estrutura de composição do produto. Na árvore do produto, os itens são agrupados em módulos ou subconjuntos que compõem o produto. Esses elementos são organizados em diferentes *níveis*. A Figura 7.7 ilustra uma *árvore de produto* associada à montagem de um triciclo, como exemplo.

Nessa árvore observa-se que para produzir 1 triciclo são necessários:

- 1 conjunto frontal;
- 1 quadro;
- 1 conjunto traseiro.

Por sua vez, para montar um conjunto frontal são necessários:

- 1 roda;
- 1 sistema de direção;
- 1 sistema de acionamento de freio.

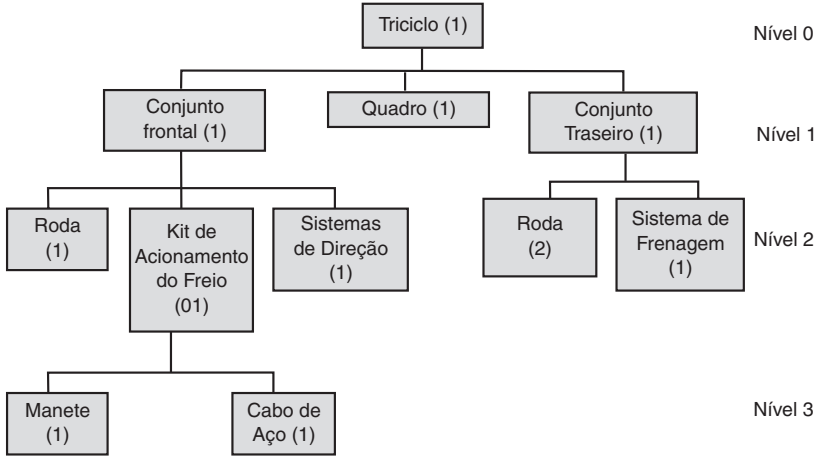


Figura 7.7. Árvore de produto associada à montagem de um triciclo.

Cada sistema de acionamento de freio é composto de:

- 1 manete;
- 1 cabo de aço.

Já o conjunto traseiro demanda:

- 2 rodas;
- 1 sistema de frenagem.

Para auxiliar a fixação desse conceito, um outro exemplo de árvore do produto é apresentado na Figura 7.8. Nesta figura está apresentada a árvore de um produto genérico X. A apresentação dessa árvore tem objetivo didático, pois o produto X será utilizado como referência em exercícios de fixação e na explicação de conceitos importantes ao longo desta seção.

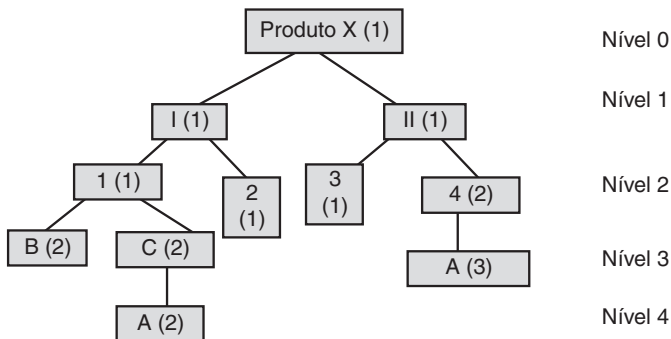


Figura 7.8. Árvore de produto associada à montagem do produto X.

A partir da árvore de produtos, podemos extrair o conceito de itens pais e itens filhos, muito utilizados no linguajar usual do MRP. O produto X, por exemplo, é pai dos subconjuntos I e II. Já o item A, por exemplo, é filho do item C. Alguns itens podem ser pais e filhos ao mesmo tempo, como é o caso dos itens I, II, 1, C e 4. Repare que os itens que são apenas filhos (B, A, 2 e 3) serão necessariamente itens comprados (matéria-prima ou item comercial), enquanto os outros são fabricados (ou montados).

### Lista de materiais

As listas de materiais (BOM: *Bill of Materials*) informam os componentes (módulos, submontagens, itens) e quantidades necessários à confecção de um determinado produto. As listas são, então, elementos-chave para o planejamento, programação e controle da produção. Existem diferentes abordagens para se elaborar uma lista de materiais. A seguir apresentam-se alguns tipos construções de listas de materiais: É interessante descrever as vantagens e desvantagens de cada tipo de lista ou, alternativamente, quando usar cada uma delas.

- **Lista endentada.** Como o próprio nome já diz, apresenta os componentes do produto de uma forma “endentada”. Para o exemplo do triciclo a lista seria apresentada conforme ilustrado na Tabela 7.2.

**Tabela 7.2.** Lista endentada dos componentes do triciclo

Nível	Item	Unidade	Quantidade
0 - - -	Triciclo	Unid.	1
- 1 - -	Conjunto frontal	Unid.	1
- - 2 -	Roda	Unid.	1
- - 2 -	Sistema de direção	Unid.	1
- 1 - -	Quadro	Unid.	1
- 1 - -	Conjunto traseiro	Unid.	1
- - 2 -	Roda	Unid.	2
- - 2 -	Sistema de frenagem	Unid.	1

- **Matriz de classificação cruzada.** Trata-se de um tipo de lista de materiais, que apresenta os relacionamentos entre produtos, módulos, subconjuntos e componentes de um produto. A Tabela 7.3 apresenta um exemplo desse tipo de lista de materiais.

**Tabela 7.3.** Exemplo de matriz de classificação cruzada

		Módulos			Componentes			
		M1	M2	M3	C1	C2	C3	C4
Produto Acabado	A	2		1			4	
	B		2	1		2		
Módulo	M1				2	3		1
	M2					1	2	
	M3				1			2

Desse quadro, as seguintes informações podem ser extraídas:

Cada unidade do produto A é composta por duas unidades do módulo M1, uma unidade do módulo M3 e quatro unidades do componente C3.

Cada unidade do produto B é composta por duas unidades do módulo M2, uma unidade do módulo M3 e duas unidades do componente C2.

Cada unidade do módulo M1 é composta por duas unidades do componente C1, três do componente C2 e uma unidade do componente C4.

Cada unidade do módulo M2 é composta por uma unidade do componente C2 e duas do componente C3.

Cada unidade do módulo M3 é composta por uma unidade do componente C1 e duas unidades do componente C4.

- **Lista modular.** Módulos são componentes intermediários dos produtos e são montados como uma unidade “indivisível”. A construção de uma lista modular é a estruturação do produto como composição de produtos intermediários. Na lista modular os produtos são estruturados em função de seus módulos. Este tipo de lista permite compor um produto como função de “poucos” módulos, de forma alternativa à sua composição por um grande número de “ingredientes”. Nesse caso a lista modular concorre para o aumento da efetividade do sistema.

Para ilustrar o conceito de elaboração de uma lista modular, será adotado o exemplo para produção de um automóvel, apresentado a seguir:

**Exemplo 7.1.** Considere um automóvel com as seguintes possibilidades de configuração:

- Potência do motor: 1,6 Cil.; 1,8 Cil.; 2,0 Cil.; ou 2,5 Cil.
- Combustível do motor: álcool, gasolina e gás
- Carroceria: utilitário, passeio (duas portas) ou passeio (quatro portas).
- Sistema de direção: tradicional ou hidráulica.
- Acabamento interno: luxo, superluxo e imperial.

Para esse automóvel **quantos modelos é possível construir?**

Combinando as opções de composição possíveis, temos:  $4 \times 3 \times 3 \times 2 \times 3 = 216$  possibilidades. Ou seja: para o exemplo em questão, é possível fabricar 216 modelos diferentes de carros. Esse resultado indica que deveríamos ter **216 listas de materiais**, uma para cada composição possível, o que é visivelmente inviável de gerenciar. Alternativamente, poderíamos estruturar a lista de uma forma modular. Nesse caso teríamos apenas 17 listas de materiais:

- uma lista informando os módulos que compõem o carro;
- três listas associadas aos motores segundo o tipo de combustível (uma para o motor a gás; uma para o motor a álcool e uma terceira para o motor a gasolina);
- quatro listas associadas aos motores, segundo a potência destes (uma para cada tipo de motor, segundo a sua potência);
- três listas associadas ao tipo de carroceria do automóvel;
- duas listas associadas ao sistema de direção;
- três listas associadas ao acabamento interno do veículo.

Total de listas =  $3 + 4 + 3 + 2 + 3 = 15$  listas de materiais. Observe que essa quantidade é bem menor do que as 210 listas de materiais citadas anteriormente.

Uma importante reflexão a respeito do uso de listas modulares é que elas são muito úteis quando da adoção de sistemas MRP, pois facilitam as atividades de planejamento e controle.

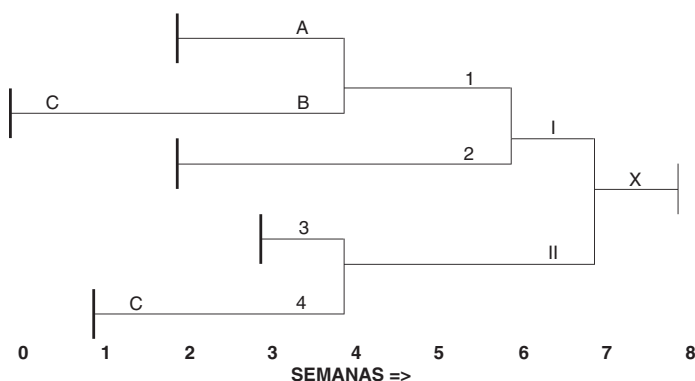
- **Árvore de prazos.** São também denotadas por *Time-Phased Diagrams*, ou *Time-Phased Trees*, ou ainda *Time-Phased Charts*. As **árvores de prazos** informam os prazos (*lead times*) associados ao recebimento ou montagem de cada um dos módulos, itens, subconjuntos que compõem o produto.

**Exemplo 7.2.** Considere que a Tabela 7.4 apresenta os prazos (*lead times*) associados à montagem/recebimento de cada um dos elementos que compõem o produto X (e também do próprio produto X). A Figura 7.9 traz a árvore de prazos para a produção do *Produto X*.

**Tabela 7.4.** Prazos para o recebimento dos elementos que compõem o *Produto X*.

PRODUTO/COMPONENTE	PRAZO (SEMANAS)*
X	2
I	1
II	3
1	2
2	4
3	1
4	2
A	2
B	3
C	1

\*Prazo necessário para montar cada lote do produto/componente, caso disponha (em mãos) de todos os seus "ingredientes".


**Figura 7.9.** Árvore de prazos do produto X.

### 7.3.2 Saídas do MRP

Conforme visto na Figura 7.2 as saídas do MRP alimentam o sistema fabril e o sistema de suprimentos, sendo usada também em retroalimentação aos sistemas de planejamento da organização.

- **Ordens de Produção:** são ordens planejadas de produção e constituem uma programação indicando a quantidade e as datas de início e fim da produção dos módulos, subconjuntos ou itens.
- **Ordens de Compras:** semelhantes às ordens de produção, são ordens planejadas que indicam as datas de necessidade de materiais de compras.

## 7.4 PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO NO MRP

Nesta seção apresenta-se o processo de desenvolvimento de um plano de necessidades de materiais, utilizando a técnica do MRP. As etapas descritas a seguir devem ser seguidas em todos os níveis da estrutura, do nível mais alto para o mais baixo.

1. Obtenha as **necessidades brutas** (*gross requirements*) do item. As necessidades brutas originam-se na demanda independente e são transmitidas aos itens filhos através do cálculo MRP. A demanda bruta de um item filho será dada pela necessidade líquida do item pai.
2. Identifique o **estoque disponível** (projetado) do item (*on hand*).
3. Identifique os **recebimentos programados** (*Scheduled receipt*).
4. Calcule as **necessidades líquidas** (*net requirement*), dada por:

$$\begin{aligned} \text{Necessidade líquidas} &= \text{Necessidades Brutas} \\ &- \text{Estoque Disponível} - \text{Recebimentos Programados} \\ \text{NL} &= \text{NB} - \text{ED} - \text{RP} \end{aligned}$$

5. Estabeleça um **plano de necessidades de recebimento/produção**, a partir das necessidades líquidas. Esse plano deve informar as datas em que o item precisa estar disponível.
6. Estabeleça um **plano de ordens de produção/compras**. Esse plano é elaborado visando atender o plano de necessidades de recebimento e considerando os prazos de fabricação ou fornecimento (*lead times*) do produto;
7. **Repita estes passos** para todos os produtos, módulos, subconjuntos, peças, componentes e ingredientes do sistema de produção.

Um instrumento que facilita o processo do MRP é a Matriz MRP. A Figura 7.10 apresenta um exemplo de uma Matriz MRP ainda não preenchida.

Semana (ou outro período de planejamento)	1	2	3	...	n - 1	n
Necessidades Brutas						
Recebimentos programados						
Disponibilidade no estoque						
Necessidades Líquidas						
Programação das necessidades de recebimento/produção						
Programação de ordens de produção/compras						

**Figura 7.10.** Gabarito de Matriz MRP.

A seguir apresenta-se um exemplo de aplicação do MRP, no qual fazemos uso desse tipo de matriz.

**Exemplo 7.3.** Considere a produção de um *par de patins* (Produto **PAR**), produzido pela Empresa Brinques. A *árvore de produto* de **PAR** encontra-se representada na Figura 7.11. A Tabela 7.5 apresenta a programação de produção e montagem (necessidades brutas) desse produto para as próximas 20 semanas (informação oriunda do *Programa Mestre de Produção*). A Tabela 7.6 apresenta os prazos de fornecimento (*lead times*) associados a **PAR** e aos seus componentes. A disponibilidade de **PAR** (e a dos seus componentes) no estoque da *Empresa Brinques* também é apresentada na Tabela 7.6, informação oriunda do setor de estoques da Brinques. Já a Tabela 7.7 apresenta as chegadas programadas desse produto (e de componentes deste) para esse mesmo período – as chegadas podem ser, por exemplo, fruto de produção terceirizada que abastece o sistema de produção de Brinques e devem ser informadas pelo setor de compras da organização.

**Tabela 7.5.** Demanda bruta do produto PAR

Produto	Necessidades Brutas (Semanas)																			
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
<b>PAR</b>							50					50						50		

De posse dessas informações, inicia-se o processo de preenchimento da Matriz MRP. A Tabela 7.8 ilustra o preenchimento parcial dessa matriz para o produto **PAR**.



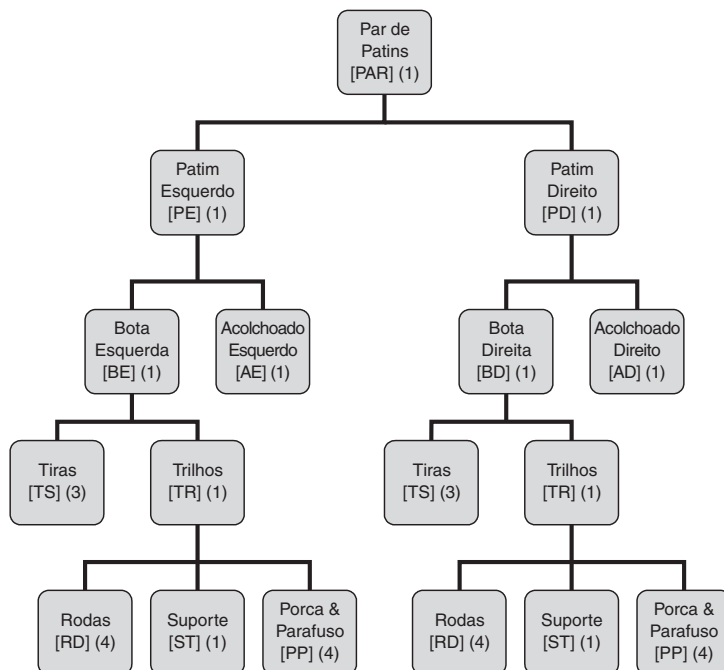


Figura 7.11. Árvore de produto associada à montagem do produto PAR.

Tabela 7.6. Disponibilidade em estoque e prazos de entrega/montagem

PRODUTO/COMPONENTE	DISPONÍVEL EM ESTOQUE	PRAZO (SEMANAS)*
PAR	20	1
PD	10	1
PE		1
AD		1
AE	50	1
BD	60	2
BE	50	2
TS		1
TR		2
RD	500	4
ST	50	2
PP	1000	1

\* Prazo necessário para montar/receber cada lote do produto/componente, considerando a hipótese de que esse prazo independe do tamanho do lote.

Tabela 7.7. Recebimentos programados

PRODUTO/ COMPONENTE	RECEBIMENTOS PROGRAMADOS																
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
PAR										10			10				
AD					20						20			20			
AE					20						20			20			

**Tabela 7.8.** Preenchimento parcial da Matriz MRP para o produto PAR

PAR	SEMANA																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Necessidades Brutas (NB)										50					50					50
+Recebimentos Programados (RP)													10			10				
Disponibilidade no Estoque (ET)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20			10	10	10	10	10	10	10	10
Necessidades Líquidas (NL)																				
Programação de ordens de produção (OP)																				

Aplicando as etapas do MRP (apresentadas no início desta seção) aos dados apresentados na Tabela 7.8, obtemos a Tabela 7.9, que apresenta o preenchimento completo da Matriz MRP para o produto PAR. Observe que essa matriz apresenta o planejamento das ordens de fabricação apenas para o nível mais alto do produto PAR.

**Tabela 7.9.** Matriz MRP para o nível mais alto do produto PAR

PAR	SEMANA																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
NB											50					50					50
RP														10							
ET	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20			10	10	10	10	10	10	10	10
NL											30					40					40
OP										30					40						40

Essa matriz informa que:

- devem ser emitidas ordens de produção do produto PAR nas semanas 09 (30 unidades de PAR), 14 (40 unidades de PAR) e 19 (40 unidades de PAR);
- o estoque estará armazenando 20 unidades do produto PAR da semana 1 até a semana 10; e 10 (dez) unidades do produto PAR entre as semanas 13 e 20. Nas semanas 11 e 12 não haverá unidades do produto PAR disponíveis no estoque.

**Nota:** Para a obtenção desses resultados usou-se a estratégia de consumir o estoque o mais rápido possível. Com isso, busca-se reduzir os custos de armazenamento.

Adotando o mesmo procedimento para obter o planejamento para os demais componentes de PAR, a Tabela 7.10 apresenta a matriz MRP os componentes PD, PE, AD, AE, BD e BE.

## 7.5 INCERTEZAS E IMPRECIÇÕES NO MRP

Na elaboração do MRP, foram consideradas informações determinísticas tanto com respeito à demanda quanto ao suprimento e capacidade de produção. Mas o mundo real não é determinístico. Para se proteger de flutuações estatísticas, algumas medidas são usualmente adotadas.

**Tabela 7.10.** Matriz MRP para os itens PD, PE, AD, AE, BD e BE

		SEMANA																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
PD	NB										30					30						40
	RP																					
	Et	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10											
	NL										20					40						40
	OP										20				40						40	
PE	NB										30					40						40
	RP																					
	Et																					
	NL										30					40						40
	OP										30				30						30	
AD	NB										20				40						40	
	RP																					
	Et																					
	NL										20				40						40	
	OP										20			40					40			
AE	NB										30					40						40
	RP																					
	Et	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	20	20	20	20	20	20					
	NL										0					20						40
	OP														20						40	
BD	NB										20				40						40	
	RP																					
	Et	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	40	40	40	40	40						
	NL										0				0						40	
	OP																	40				
BE	NB										30					40					40	
	RP																					
	Et	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	10	10	10	10	10						
	NL															30					40	
	OP														30			40				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		SEMANA																				

- Adotar uma margem de segurança com respeito a demandas, que se traduz em estoque de segurança, principalmente de produtos finais.<sup>3</sup>
- Definir uma margem de segurança com relação aos prazos (*lead times*) para processamento das operações de produção (isso equivale a fazer um “estoque de tempo”).<sup>4</sup>

O MRP é um sistema de programação da produção que considera um horizonte de tempo pequeno. Oscilações não previstas na capacidade de produção, na demanda ou no suprimento fazem com que o plano gerado precise ser controlado e revisto constantemente, aproximadamente uma ou duas vezes por semana.

Outras fontes de alteração nos MRP são a revisão do projeto do produto e a revisão dos processos de fabricação. A revisão do projeto do produto pode alterar a árvore do produto e a lista de materiais. Já a revisão dos processos de fabricação pode alterar os prazos de realização das operações de produção e também alterar o grau de uso de estações de trabalho.

Uma variação do MRP para atender a essas flutuações é o *MRP regenerativo* que gera novos planos a partir de um plano original. Uma das vertentes do MRP regenerativo é o *net MRP*, que foca o planejamento dos produtos que sofreu alteração.

É importante registrar que mudanças contínuas no plano de produção e na emissão de ordens de serviço fazem com que o sistema de produção fique instável, refletindo nervosismo. Como forma de reduzir o nervosismo do sistema, o gerente de produção deve verificar o impacto das mudanças no plano e avaliar se, de fato, estas devem ser implementadas, repassando apenas as mudanças ao planejamento. Nesse contexto a retroalimentação do sistema é um elemento de grande valia.

**7.6 TAMANHO DO LOTE NO MRP**

Até aqui, na elaboração do MRP foi considerado que qualquer tamanho de lote é factível e economicamente viável. No entanto, pode ser que o lote definido no MRP não seja factível ou que possa haver um tamanho economicamente mais adequado.

**Exemplo 7.4.** Considere a Tabela 7.9, que indica a produção de patins PAR. Segundo essa tabela, devem ser emitidas ordens de produção de lotes com 30, 40 e 40 unidades de PAR na semana 9, 14 e 19, respectivamente. Poder ser que, devido a custos de *setup* e de armazenamento, seja economicamente mais interessante produzir lotes com um tamanho padrão de 50 unidades. Nesse caso seriam produzidas 50 unidades de PAR nas semanas 9, 14 e 19, conforme reportado na Tabela 7.11, apresentada a seguir.

**Tabela 7.11.** Matriz MRP para o produto PAR: lote de produção fixo (50 unidades)

PAR	SEMANA																					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
NB											50					50						50
RP														10								
ED	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	40	40	40	40	40	40
NL											30					10						10
OP										50						50					50	

<sup>3</sup> Vale uma observação: conforme foi visto no Capítulo 3, adotando-se a teoria das restrições é possível identificar os gargalos para os quais se utiliza o estoque de segurança (ou pulmão).

<sup>4</sup> Aqui pode-se fazer uso do conceito de caminho crítico utilizado no contexto de PERT/CPM para identificar e monitorar atividades que fazem parte do caminho crítico, buscando também a redução das incertezas quanto ao tempo de execução das mesmas.

Observe que:

- na 21ª semana, o estoque de produtos acabados contará com 40 unidades de **PAR** em estoque;
- houve um aumento da quantidade de produtos **PAR** nas semanas 9, 14 e 19. Isso significa que deverá ser refeito o planejamento para os demais itens que compõem o produto par.

A definição do tamanho do lote é um assunto importante e particular no âmbito do PCP. Os conceitos adotados para definição do tamanho do lote ótimo no Capítulo 5 podem ser adotados por analogia na determinação do tamanho do lote ótimo de produção, desde que incluam restrições de capacidade de produção.

## 7.7 MRP DE CICLO FECHADO E CRP

Na elaboração do MRP foram consideradas apenas as informações que alimentam o MRP, conforme ilustrado na Figura 7.12. Ou seja, não foram observados outros aspectos referentes aos recursos de produção, tais como a capacidade de produção e a taxa de ocupação das unidades de produção, por exemplo. O MRP de Ciclo Fechado (*Closed Loop MRP*) foi a primeira variação do MRP que considera a integração com o replanejamento da produção.

No MRP de Ciclo Fechado verifica-se a possibilidade de execução do plano obtido. Caso não seja possível executá-lo, altera-se o programa mestre de produção e refaz-se o planejamento sucessivamente até que se obtenha um plano factível. Esse processo recursivo é que dá nome ao MRP de Ciclo Fechado.

Para avaliar a exequibilidade do plano gerado pelo MRP é necessário considerar a capacidade dos recursos de produção. O planejamento da capacidade dos recursos é conhecido como **CRP** (*Capacity Resource Planning*), ou ainda, **planejamento da capacidade de curto prazo**. O objetivo do CRP é antecipar as necessidades de recursos e atuar de forma a tornar viável o planejamento detalhado da produção.

As principais decisões provenientes da análise de capacidade (CRP) são o processamento paralelo, a divisão (quebra de lotes) ou o remanejamento no tempo (antecipação ou adiamento) das ordens de produção. Pode-se, ainda, aumentar a capacidade dos recursos usando-se soluções de curto prazo, como por exemplo a realização de horas extras. A seguir, baseada em exemplos,<sup>5</sup> apresenta-se uma discussão a respeito dessas decisões.

**Exemplo 7.5.** Considere que uma planta industrial (**Planta PI**) tem uma célula de soldagem (**CS5**). Essa célula processa diferentes lotes de fabricação, que, por sua vez, podem estar associados a diferentes produtos. A Tabela 7.12 apresenta a *capacidade operacional*<sup>6</sup> ou capacidade de processamento (kg/solda) de **CS5** e, também, a carga demandada (em kg/solda) por cada lote com processamento previsto para essa estação. Esse planejamento é válido para os próximos 12 turnos de trabalho. A Figura 7.13 ilustra o diagrama de carregamento dessa estação. Conforme pode ser observado, não há problemas quanto à capacidade da carga, e o planejamento é exequível.

**Exemplo 7.6.** Considere agora o carregamento de uma outra célula de soldagem (**Célula CS6**) da **Planta PI**. A Tabela 7.12 apresenta a *capacidade operacional* (kg/solda) de **CS6** e, também, a carga demandada (em kg/solda) por cada lote com processamento previsto para essa estação. Esse planejamento é válido para os próximos 10 turnos de trabalho. A Figura 7.14 ilustra o digrama de carregamento dessa estação. Observe que, em determinados períodos, a *capacidade operacional* de **CS6** é inferior ao processamento planejado. É necessário, então, que o planejamento seja revisto.

<sup>5</sup> **Dica:** O arquivo MRP Capacidade.xls contém planilhas eletrônicas que podem ser utilizadas como instrumento de apoio a essa discussão.

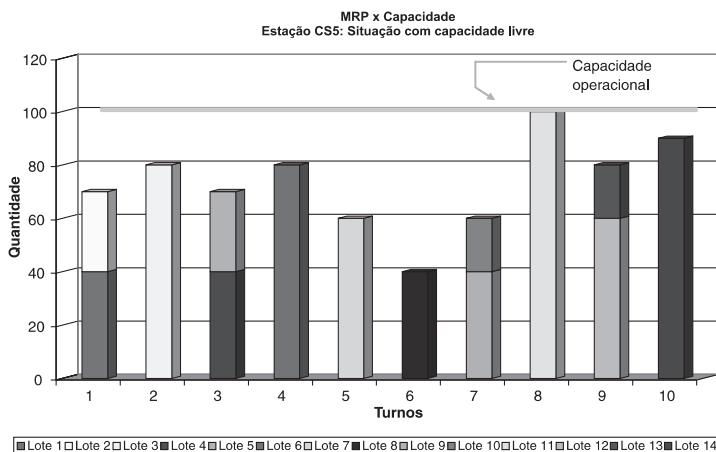
<sup>6</sup> Para a definição de *capacidade operacional*, veja o Capítulo 10 deste livro, que trata do *Planejamento da Capacidade*.

**Tabela 7.12.** Capacidade operacional e carregamento para a estação **CS5**

PERÍODO	LOTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lote 1		40									
Lote 2		30									
Lote 3			80								
Lote 4				40							
Lote 5				30							
Lote 6					80						
Lote 7						60					
Lote 8							40				
Lote 9								40			
Lote 10								20			
Lote 11									100		
Lote 12										60	
Lote 13										20	
Lote 14											90
Capacidade Operacional		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**Tabela 7.13.** Capacidade operacional e carregamento para a estação **CS6**

PERÍODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lote 21	40									
Lote 22	30									
Lote 23		80								
Lote 24			40							
Lote 25			30							
Lote 26				80						
Lote 27					90					
Lote 28					30					
Lote 29						90				
Lote 30							100			
Lote 31								30		
Lote 32								100		
Lote 33									20	
Lote 34										30
Capacidade Operacional	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



**Figura 7.13.** Estação **CS5**: Capacidade “livre”.

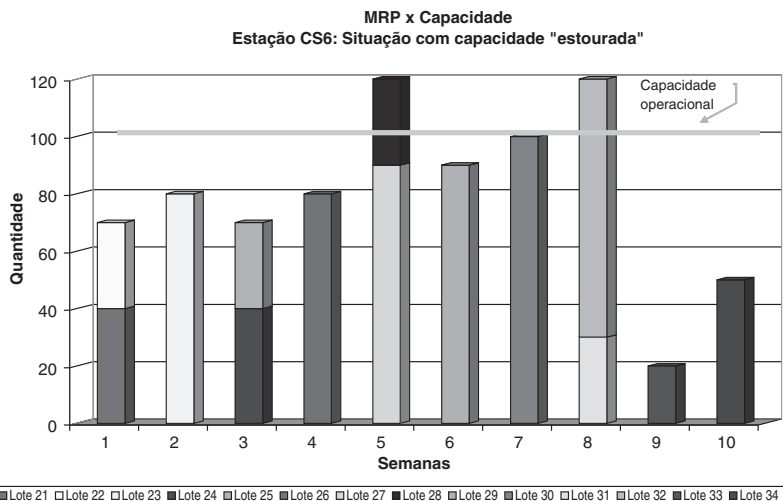


Figura 7.14. Estação CS6: Capacidade "estourada".

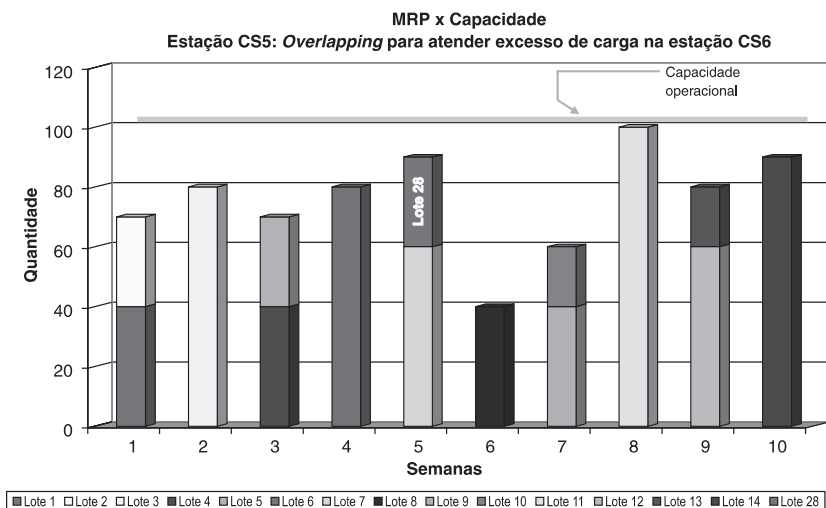


Figura 7.15. Carregamento da estação CS5 considerando processamento paralelo.

Algumas estratégias básicas são aqui apresentadas para o replanejamento, considerando o "estouro" da capacidade de produção.<sup>7</sup>

- **Processamento paralelo (*Overlapping*).** Neste caso o lote de produção é processado em uma outra unidade da planta que tenha competência técnica para produzi-lo.<sup>8</sup> Por exemplo, caso a estação CS5 do Exemplo 7.4 tenha as mesmas características técnicas da estação 7.7, o lote 28 poderia ser processado no período (turno 5) da estação CS5 aliviando a carga da estação CS6 neste período. A Figura 7.15 ilustra o carregamento na estação CS5 considerando o processamento paralelo.

<sup>7</sup> Pelas suas características, o CRP considera uma realocação da capacidade estando mais próximo do planejamento agregado, tratado no Capítulo 6, do que do planejamento da capacidade, tratado no Capítulo 12.

<sup>8</sup> Ou em uma outra planta de produção através de um processo de terceirização, por exemplo.

- **Quebra do lote ou divisão do lote (*Lot Split*).** Neste caso o lote de produção é *quebrado* e processado em períodos diferentes. Por exemplo, o lote 32 poderia ser dividido em dois lotes de 50 unidades: lote 32a e lote 32b. O lote 32a seria processado no turno 8, e o lote 32b seria processado no turno 9. É importante lembrar da necessidade de verificar junto ao Plano Mestre a possibilidade de efetuar esse “atraso parcial” (50% do lote sofrerá um atraso de 1 turno) na entrega do lote 32. Caso seja possível esse atraso, o MPS deve ser atualizado com essa informação. A Figura 7.16 ilustra o carregamento na estação CS6 considerando a quebra do lote 32.
- **Remanejamento do lote.** Neste caso a produção do lote é transladada no tempo (antecipação ou atraso na produção). A Figura 7.17 ilustra o carregamento na estação CS6 considerando o deslocamento do lote 28 para quatro situações distintas: i) atraso da produção para o turno 9; ii) atraso da produção para o turno 10; iii) antecipação da produção para o turno 1; e iv) antecipação da produção para o turno 3. Nos dois primeiros casos (atraso na produção) deve-se verificar a exequibilidade do atraso junto ao planejamento e os efeitos do mesmo sobre vendas

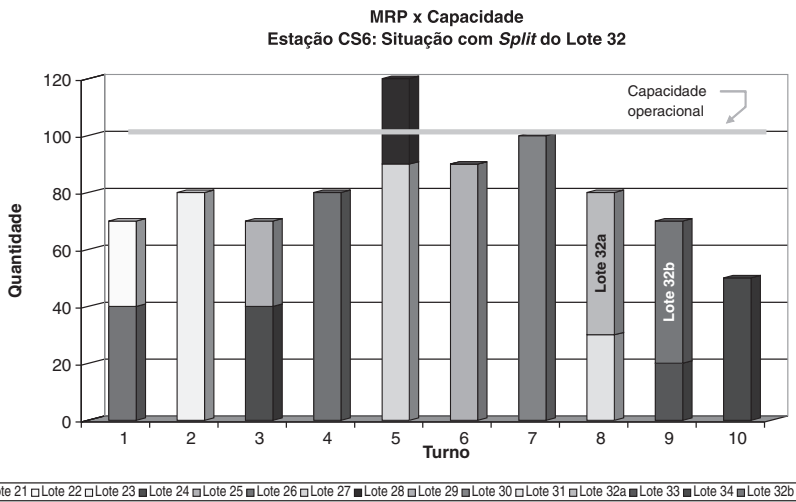


Figura 7.16. Quebra do lote 32 para adequação à capacidade da estação CS6.

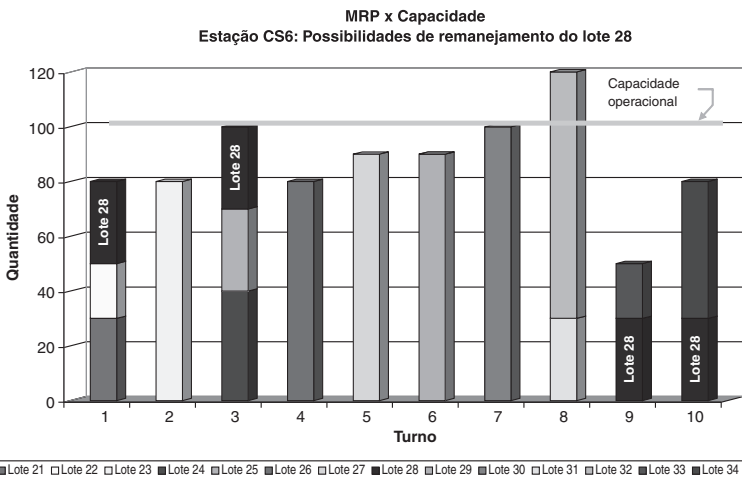


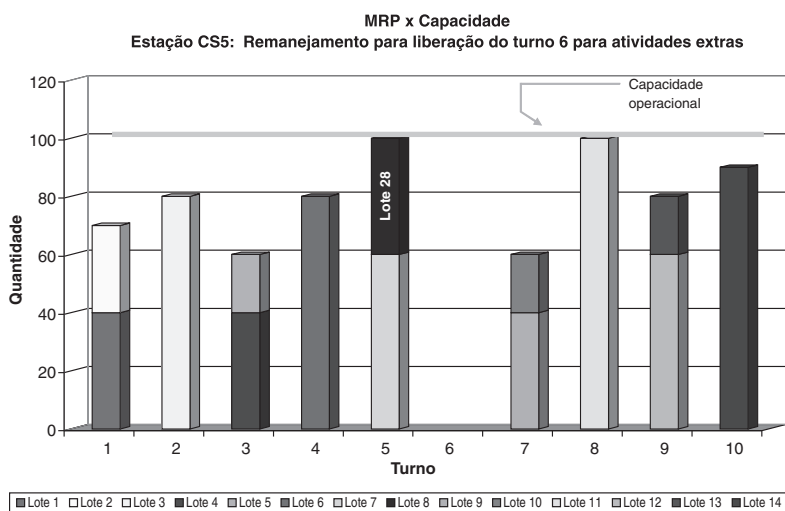
Figura 7.17. Possibilidades de deslocamento do lote 28 na estação CS6.



perdas e entregas atrasadas. Nos dois últimos casos (antecipação da produção) deve-se considerar os efeitos da antecipação sobre custos de armazenamento e estocagem. Em todos esses casos, uma decisão de antecipação ou atraso na produção deve ser informada e atualizada nas demais instâncias do planejamento (MPS).

Essas estratégias podem ser usadas para o planejamento de uso da capacidade mesmo que a capacidade operacional não tenha sido estourada.

**Exemplo 7.7.** Considere a célula de soldagem CS5 do Exemplo 7.4, cujo carregamento é ilustrado na Figura 7.15. A produção do lote 8 nessa célula pode ser antecipada para o período 5. Nesse caso, no turno 6 não haveria atividades de produção nessa célula, podendo-se aproveitar o turno para, por exemplo, efetuar atividades de manutenção na célula. A Figura 7.18 ilustra o carregamento na estação CS5 considerando a antecipação do lote 8. Observe que não há atividade de produção prevista para a célula no período 6.



**Figura 7.18.** Deslocamento do lote 8 para produção no período 5.

## 7.8 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS SOBRE O MRP E MRP II

O MRP é um sistema que permite um bom planejamento das necessidades de materiais. Originalmente ele era alimentado apenas pelo MPS e pelos estoques e se limitava a fornecer o plano de necessidades, o que contribuiu muito para facilitar o planejamento dos materiais comprados e fabricados. Porém, o fato de não considerar os recursos de produção é um fator limitante, pois os planos de produção gerados podem ser inviáveis em função da capacidade finita dos centros de trabalho.

Sendo assim, o MRP evoluiu de forma a considerar não só as necessidades de materiais, mas também as necessidades de recursos de produção, como a mão-de-obra, disponibilidade de máquinas etc. Surgiu assim o **MRP II**, cuja sigla significa *Manufacturing Resources Planning*, ou **planejamento dos recursos de manufatura**.

Note que a mesma lógica de verificação da capacidade (CRP, no curto prazo) utilizada no MRP já foi desenvolvida no âmbito no MPS (Capítulo 6), ao considerarmos o RCCP (planejamento de capacidade de médio prazo), e por sua vez, durante o planejamento agregado (longo prazo), o perfil de recursos críticos (capacidades agregadas) aparece como uma das entradas. A diferença está no nível de agregação e no horizonte de tempo considerado (curto, médio e longo prazos). O sistema conhe-

cido como MRP II engloba todos esses níveis de planejamento, e muitas críticas são feitas ao chamá-lo apenas de uma “evolução” do MRP. Na verdade, o MRP II é mais que uma evolução, é uma sistematização do processo de planejamento em níveis de detalhamento distintos, o que conduz a decisões de níveis também diferentes (estratégico, tático e operacional), caracterizando um sistema hierárquico de tomada de decisões.

Posteriormente, o MRP II foi integrado aos demais sistemas da empresa, passando a fazer parte de um ERP, *Enterprise Resource Planning*. No Capítulo 11, esse tema será discutido em detalhes.

**7.9 REVISÃO DOS CONCEITOS**

Neste capítulo foram apresentados os conceitos centrais do MRP com destaque para:

- árvore do produto;
- lista de materiais;
- cálculo do MRP;
- MRP de ciclo fechado;
- CRP.

**PALAVRAS-CHAVE**

Cálculo das necessidades de materiais  
 Listas de materiais  
 Estoques  
 Lotes de compra

**7.10 EXERCÍCIOS**

Seja uma linha de produção monoproduto cuja previsão de demanda por período é dada pela tabela a seguir.

PERÍODO	DEMANDA
1	220
2	170
3	400
4	250
5	370
6	200
7	400
8	150

- 1) Para esses dados de demanda, aplique a estratégia de empregar uma capacidade de produção regular igual à média aritmética das demandas nos oito períodos. O que se observa?
- 2) Considerando a tabela de demanda por período e os dados a seguir, resolva o problema de MRP e defina o Plano de Requisições Líquidas de Materiais para produção de 100 unidades de A na semana 8 do período de planejamento.
  - a) Lista de Materiais Endentada
    - \*A
    - \*\*B(2)
    - \*\*\*D(2)
    - \*\*\*E(3)
    - \*\*C(3)
    - \*\*\*E(1)
    - \*\*\*F(2)
    - \*\*\*\*G(1)
    - \*\*\*\*D(2)

b) *Lead times* em semanas e estoques no primeiro período

<b>PARTE</b>	<b>LEAD TIME</b>	<b>ESTOQUE</b>
A	1	10
B	2	10
C	1	20
D	1	50
E	2	20
F	3	20
G	2	20

- c) Considerar subcontratação de 100 unidades de G para o período 2 e 100 de D para o período 4.  
d) Os *lead times* de G e D são os tempos totais necessários para o recebimento desses componentes.

# Programação detalhada da produção

MARCO MESQUITA • HELDER GOMES COSTA • LEONARDO LUSTOSA  
• AUGUSTO SÉRGIO MENDES SILVA

## ■ OBJETIVOS DE APRENDIZADO

Este capítulo apresenta conceitos detalhados da programação da produção como PERT/CPM, regras de prioridades, programação para máquinas isoladas ou em arranjos (paralelo e série), atividades em projetos e redes de atividades.

## 8.1 INTRODUÇÃO

Nos capítulos anteriores, discutiu-se basicamente o planejamento dos recursos de produção, ou seja, as decisões e ações necessárias para reunir recursos e criar condições para o adequado atendimento às necessidades dos clientes. Entretanto, uma vez obtidos os recursos necessários para a produção, resta ainda decidir como esses recursos serão utilizados para atender aos pedidos dos clientes, ou repor adequadamente os estoques à medida que são consumidos.

Neste capítulo, veremos como programar as tarefas de produção, isto é, decidir quando e onde (ou por quem) cada tarefa deverá ser realizada para que as entregas se dêem no tempo certo, ou de forma que os clientes não esperem muito, que todas as tarefas sejam executadas no menor tempo possível, ou ainda, de modo a reduzir os estoques em processo e a ociosidade dos recursos na execução das tarefas de produção. Como, freqüentemente, o custo de não atender a esses aspectos é difícil de estimar, ao contrário dos níveis superiores de planejamento, o objetivo, na maioria dos casos, não é avaliado em termos de custo, e sim por outros critérios operacionais como minimizar atrasos, reduzir o estoque em processo e minimizar ociosidades.

A programação de produção é uma atividade tipicamente operacional, ou seja, de **chão de fábrica**. Seu alcance é restrito, tanto no horizonte de tempo, contemplando de horas a poucas semanas, quanto nos setores da empresa que afeta. Não obstante, é importante lembrar que isso não significa que ela seja irrelevante para realização dos objetivos estratégicos da empresa. Ao contrário, uma empresa que não consegue prever e cumprir prazos de entrega tem sua credibilidade prejudicada e, em pouco tempo, estará fora do mercado.

Por exemplo, considere uma fábrica que produz motocicletas em grande volumes (algo como 800 unidades por dia) e tenha como ponto importante de sua estratégia a oferta de produtos diferenciados. Isso faz com que alguns itens do produto final mudem de acordo com o modelo considerado. Nesse caso, o seqüenciamento dos modelos na linha de montagem (*mix* de produção) e a programação das ordens de produção de peças nos setores de produção que alimentam a linha de montagem tornam-se muito mais complexos. Para não parar a linha de montagem ou ter de operar com estoques de produtos intermediários muito elevados, é necessário um eficiente sistema de programação das ordens de fabricação, caso contrário, o objetivo estratégico de oferecer variedade a baixo custo torna-se inviável.

Outro contexto de produção, diferente da fabricação e montagem é a produção por projeto. Nesse tipo de produção, em vez de uma fabricação contínua, ou em lotes, cada produto é, em si, um projeto que requer o uso de recursos específicos, variando conforme as fases do processo de produção. Exemplos típicos desse tipo de produção são: as obras de engenharia civil; fabricação e montagem na indústria de mecânica pesada, além de projetos de produção intelectual (projetos de arquitetura e engenharia, softwares complexos, montagem de espetáculos de entretenimento).

A programação de atividades em projetos, apesar de também ter uma natureza tática, normalmente se dá num nível gerencial mais elevado, tipicamente de gerência média. Nesse tipo de produção (de bens ou de serviços), a produção se inicia após o fechamento do contrato. No planejamento global, os objetivos mais comuns são a observação das datas prometidas para entrega e a minimização do custo total do projeto. Para alcançar esses objetivos, deve-se determinar o conjunto de atividades que compõem o projeto, suas restrições técnicas e necessidades de recursos. A programação da produção, nesse caso, consiste basicamente na definição de um cronograma dessas atividades, sujeito às restrições técnicas e econômicas do projeto.

Por suas características distintivas, a programação de operações e a alocação de recursos em serviços também deram origem a métodos próprios. Como o produto de serviços não pode ser estocado, a boa utilização da capacidade tem de ser obtida através da sincronização da demanda com a produção, ou através do ajuste da capacidade à demanda. Um exemplo do primeiro caso é o *agendamento*. Agendando pacientes, muitas unidades que prestam serviços, como médicos, dentistas, advogados e oficinas de autos conseguem sincronizar a demanda com o ritmo dos serviços, evitando ociosidade dos servidores e espera dos clientes (que, figurativamente, podem ser vistos como um estoque de matéria-prima de elevadíssimo custo de posse).

Em serviços, o ajuste da capacidade a uma demanda que varia ao longo do tempo (ou seja, do dia, da semana ou do mês) às vezes pode ser conseguido com uma escala de servidores adequada. Esse é o caso de **centros de teleatendimento** (*call centers*) que programam a escala de seus funcionários para início em diferentes horários, de forma que o número de atendentes em serviço seja compatível com o ciclo diário de variação da demanda, respeitando as restrições trabalhistas.

Muitos dos conceitos e técnicas de programação em manufatura são aplicáveis às situações de programação em serviços e vice-versa. Essas possibilidades ficam claras quando se entende bem os conceitos e as técnicas desenvolvidos. Por exemplo, regras de seqüenciamento de tarefas em uma máquina podem ser utilizadas para priorizar atendimento em postos de atendimento médico-hospitalar. No sentido oposto, alguns conceitos de programação de serviços são úteis na produção de bens personalizados (*customized*) produzidos sob encomenda.

Por estar associada a aspectos diversos referentes aos recursos de produção, aos processos de produção e à demanda dos clientes, a programação da produção é um assunto muito amplo e diversificado. Do ponto de vista teórico-prático, um ponto importante do aprendizado diz respeito ao desenvolvimento de modelos de apoio à decisão que auxiliem o gerente de produção a obter as melhores soluções de programação para cada problema específico em questão. Nesse sentido, o campo da Pesquisa Operacional oferece uma gama extensa de modelos e métodos de solução para diferentes problemas de programação. A Teoria de Programação (*Scheduling*), que trata dos problemas de otimização combinatória subjacentes aos problemas reais de programação de operações, inclui, além dos problemas de programação da produção em fábricas, problemas de programação de entregas (ou roteirização de veículos), programação de escalas de trabalho, entre muitos outros.

Neste capítulo, serão apresentados conceitos e modelos básicos para os problemas de programação da produção industrial, considerando os três ambientes básicos de produção, ou seja, a produção intermitente (Seção 8.1), a produção por projetos (Seção 8.2) e a produção contínua (Seção 8.3). Encerra-se o capítulo com uma discussão acerca dos sistemas de apoio à decisão em programação da produção. Ao leitor interessado em aprofundar seus conhecimentos no assunto, indicam-se

as seguintes referências: Morris (1970), Morton e Pentico (1993), Halpin e Woodhead (1998), Baker (1998) e Pinedo (2004).

## 8.2 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO INTERMITENTE

O ambiente de produção, as instalações e o processo produtivo, de modo geral, assim como diversas outras condições da produção – entre elas o padrão de chegada dos pedidos e a existência de roteiros alternativos de produção – são os fatores mais relevantes na programação de tarefas. Tais aspectos serão salientados ao longo do texto.

### 8.2.1 Decisões em programação

De um modo geral, distinguem-se sete categorias de decisão em programação de tarefas, conforme a seguir.

1. **Designação (*assignment*):** Determinação de onde (ou por quem) a tarefa será executada.
2. **Seqüenciamento (*sequencing*):** Determinação da seqüência (ou ordem) em que as tarefas devem ser executadas em um dado recurso.
3. **Programação (propriamente dita) (*scheduling*):** Determinação de quando a tarefa deverá ser iniciada e terminada, não apenas a seqüência.
4. **Despacho (*dispatching*):** Quando e para quem (ou centro de trabalho) a ordem deverá ser emitida (ou liberada).
5. **Controle (*control*):** Acompanhamento dos trabalhos para garantir que o programa se mantenha válido e determinação de eventuais necessidades de intervenção ou de reprogramação.
6. **Apressamento<sup>1</sup> (*expediting*):** Acelerar a ordem de produção pelo aumento de sua prioridade para manter o programa válido ou para atender a necessidade específica.
7. **Carregamento de oficinas (*shop loading*):** Definição dos roteiros e programação das tarefas dentro de uma fábrica, ou seção de um sistema produtivo.

### 8.2.2 Tipos de ambientes de programação

Importante também é distinguir tipos de ambientes de fabricação em manufatura. Para efeito de programação, consideram-se na teoria de programação quatro ambientes básicos: uma máquina, máquinas em paralelo, máquinas em série e oficina de máquinas. Note que, como é de praxe na literatura, apesar de usarmos o nome genérico “máquinas”, na verdade estamos nos referindo a recursos produtivos em geral (estações de trabalho, máquinas, empregados, centros de trabalho etc.). A seguir são destacados alguns tipos de oficinas.

- **Máquina única (*single machine shop*):** Neste primeiro caso, considera-se a existência de “n” ordens a serem processadas em uma única máquina, cada ordem com parâmetros específicos como tempo de *setup*, tempo de produção, data de entrega, data de liberação etc. Embora pareça pouco representativo de uma situação real, o problema de programação permite apresentar fundamentos de programação que serão úteis na solução de problemas mais complexos. Além disso, em alguns casos, a programação da fábrica pode estar subordinada à programação de uma máquina principal, em geral denominada recurso gargalo, e, nesse caso, os modelos de máquina única podem ser aplicados. Outra situação interessante ocorre em processos de produção contínua em que uma linha inteira ou até mesmo a fábrica (ou usina) pode ser considerada como uma única grande máquina.
- **Máquinas em Paralelo (*parallel machine shop*):** Uma primeira generalização do caso anterior considera “n” ordens que devem ser processadas em “m” máquinas semelhantes. Nesse problema, deve-se determinar quais ordens serão alocadas a cada máquina e, para cada uma, qual

<sup>1</sup> Não confundir com “apreçamento”, que significa “dar preço”, ou com “expedição” que é o ato de expedir.

a seqüência de processamento. O problema pode ser ainda generalizado, considerando-se que as máquinas não são idênticas, situação em que os tempos de operação podem variar conforme a máquina. Problemas de programação de máquinas em paralelo podem ser identificados em diferentes processos de produção como, por exemplo, um fabricante de peças de plástico que disponha de mais de uma máquina injetora (recurso principal) ou em atividades de produção em grupo, quando há mais de uma equipe em operação.

- **Máquinas em Série ou Fluxo (*flow shop*):** Nesta configuração, tem-se “n” ordens que devem ser processadas seqüencialmente em “m” máquinas, cada ordem tendo um tempo de operação específico em cada uma das máquinas. Essa configuração é encontrada em diferentes linhas de produção e montagem como, por exemplo, uma linha de fabricação de biscoitos, uma linha de montagem de brinquedos, uma gráfica de impressão de livros e revistas etc. Como o fluxo de produção segue um roteiro fixo, geralmente isso se reflete num *layout* em que os diversos processos de produção se dispõem na mesma seqüência do roteiro de produção. Dentro desse ambiente, podem-se distinguir duas situações:
  - **Roteiros idênticos (*pure flow shop*):** Todas as ordens passam por todas as etapas, como no caso de uma gráfica que só produz livros encadernados.
  - **Roteiros variáveis (*general flow shop*):** Algumas ordens podem “pular” algumas etapas da seqüência. Por exemplo, uma linha de montagem pode montar produtos pintados e outros não pintados, dessa forma, alguns itens não passam pela estação de pintura.

Há ainda vários outros aspectos a considerar na definição do problema de máquinas em série, como a possibilidade de haver máquinas em paralelo em alguns (ou todos) estágios da linha, a limitação de espaço para fila entre as estações etc. Cada variante do problema básico apresenta restrições específicas para a solução do problema de programação.

- **Oficina de Máquinas (*job shop*):** Finalmente, a configuração mais geral, em que há “n” ordens a serem processadas em “m” máquinas com roteiros variáveis. Cada produto apresenta uma seqüência própria de passagem pelas máquinas, incluindo a possibilidade de retornar a uma máquina mais de uma vez. Devido à falta de uniformidade dos roteiros de produção, em geral, as máquinas são agrupadas por semelhança, dando origem a um *layout* funcional ou departamental, conhecido pela expressão em inglês *job shop*.

Alguns aspectos adicionais devem ser considerados na programação da produção, entre eles se destacam os seguintes:

- **Tempo de preparação dependente da seqüência (*sequence dependent setup*):** Quando o tempo de preparação muda em função da seqüência, tem-se uma complicação a mais. Essa situação é freqüente, por exemplo, quando numa linha de envase de bebidas. Quando se passa de um sabor pungente para um neutro, a lavagem da linha tem de ser muito mais completa do que quando a mudança é do neutro para o pungente. Fato semelhante ocorre nos processos de pintura em que os tempos variam conforme a seqüência de cores.
- **Preempção (*preemption*):** Quando se admite a interrupção de uma ordem para processamento de outra. Nos modelos, consideram-se dois tipos de interrupção: a **preempção com recomeço** (quando a tarefa interrompida tem seu processamento anterior perdido) e a **preempção com continuação** (quando a tarefa interrompida é retomada sem prejuízo do tempo anterior). Claramente há casos intermediários entre esses dois extremos.
- **Programa de permutação única:** No caso de máquinas em série (linhas de produção), pode-se admitir que a seqüência de passagem das ordens pelas máquinas será a mesma em todas as máquinas, ou seja, considera-se uma única seqüência (permutação) das ordens de produção da primeira até a última máquina. Essa premissa simplifica o problema pela redução do número de alternativas de soluções (permutações) possíveis.

Dessa breve apresentação, o leitor pode perceber a variedade de situações que podem ser encontradas na prática em programação da produção. Além de diferentes configurações, para uma mesma configuração, diferentes objetivos e métodos de solução podem ser formulados. Isso explica a grande quantidade de modelos e métodos apresentados em livros e periódicos acadêmicos sobre o tema.

### 8.2.3 Objetivos e indicadores de desempenho

De forma geral, classificam-se os objetivos da programação de produção em três classes: **cumprimento de prazos, velocidade de fluxo e utilização**. O primeiro atributo está diretamente relacionado ao nível de atendimento ao cliente e, por isso, constitui um fator crítico para a sobrevivência e lucratividade da empresa, especialmente em sistemas de produção contra pedido.

A velocidade de fluxo diz respeito ao tempo de atravessamento das ordens pela fábrica. Nesse sentido, quanto maior o número de ordens na fábrica, maiores serão os tempos de espera e, por consequência, maiores os tempo de fluxo das ordens. A partir de um procedimento racional de liberação das ordens e priorização destas nas máquinas, é possível reduzir as filas e, em decorrência, aumentar a velocidade de fluxo (vazão) na fábrica.

A máxima utilização (ou mínima ociosidade) dos recursos é outra meta que o gerente de produção busca com intuito de diluir os custos de produção. No entanto, essa meta deve ser considerada nos níveis hierárquicos mais altos de planejamento, quando se dimensiona a capacidade de produção. No nível operacional, a busca da utilização máxima pela liberação de um número maior de ordens ou produção de itens para estoque pode acarretar congestionamento da fábrica, aumento de custos de estoque e atrasos nas entregas. Como os objetivos anteriores são conflitantes, uma programação bem feita deve buscar um equilíbrio entre esses três critérios principais.

Para permitir o cálculo de indicadores de desempenho da programação, é necessário definir algumas variáveis e parâmetros referentes às ordens de produção, apresentados a seguir:

- **Data de disponibilidade (ou liberação, *ready date*)** –  $r_j$ : data em que a tarefa  $j$  se torna disponível para produção, ou seja, quando a ordem pode ser liberada para a fábrica.
- **Data prometida (*promised date*)** –  $d_j$ : data de conclusão desejada para a ordem  $j$ .
- **Tempo de processo (*processing time*)** –  $p_j$ : tempo consumido pela tarefa  $j$  no recurso (inclui tempo de preparação.)
- **Data de término (*completion date*)** –  $C_j$ : data em que a ordem  $j$  tem sua última operação concluída.
- **Tempo de fluxo (*flow time*)** –  $F_j = C_j - r_j$
- **Pontualidade (*lateness*)** –  $L_j = C_j - d_j$ : desvio entre a data de conclusão e a data prometida da ordem  $j$ . Se positiva, representa um atraso; se negativa, um adiantamento.
- **Atraso (*tardiness*)** –  $T_j = \max(0, L_j)$ , ou seja:  $T_j = L_j$ , se a  $L_j$  for positiva; 0, caso contrário.
- **Adiantamento (*earliness*)** –  $E_j = \max(0, -L_j)$ , ou seja:  $E_j = -L_j$ , se  $L_j$  for negativa; 0 caso contrário.

Para avaliar a eficácia de uma alternativa de solução, utilizam-se alguns indicadores de desempenho. A seguir, os indicadores mais comuns utilizados na avaliação de programas de produção:

- **Tempo médio de fluxo (ou de atravessamento) (*mean flow time* ou *lead time*)**: Média entre os tempos de fluxo das ordens.
- **Atraso médio ou máximo**: Média dos atrasos ou maior atraso entre as ordens consideradas.
- **Número de ordens atrasadas**: Quantidade de ordens concluídas após a data de entrega prometida.
- **Tempo total de trabalho (*makespan*)**: Tempo necessário para conclusão de todas as ordens abertas, ou seja, intervalo de tempo entre a liberação da primeira ordem e conclusão da última operação da última ordem processada.



- **Estoque em processo médio (WIP):** Pode ser determinado em termos de número de ordens abertas ao longo do horizonte de programação.
- **Utilização (*utilization*):** Razão entre o tempo efetivamente utilizado e o tempo total disponível do recurso. Pode-se também medir o oposto, isto é, a ociosidade (*idleness*) do recurso. Pode ser determinada com base em um único recurso crítico ou para todas as máquinas.

Esses indicadores estão claramente associados aos três objetivos de programação definidos previamente, ou seja, cumprimento de prazo, velocidade de fluxo e utilização da capacidade. Definidos o problema de programação e os principais critérios de desempenho, o próximo passo consiste em apresentar métodos para geração de soluções para o problema de programação. Inicia-se essa tarefa com a abordagem clássica da geração de programas pelo emprego de regras de prioridade (ou despacho), em que se determinam as seqüências em cada máquina a partir de diferentes critérios de prioridade.

### 8.2.4 Regras de prioridade

Algumas regras simples de prioridade permitem construir seqüências de operações em única máquina com diferentes resultados em termos de indicadores de desempenho. Essas regras podem ser aplicadas tanto em ambientes de uma máquina quanto de múltiplas máquinas, simplificando o processo de geração de alternativas de solução para os problemas de programação. Para alguns problemas específicos, essas regras geram soluções ótimas, mas, de forma geral, são métodos heurísticos que, apesar da simplicidade, não garantem a otimização. A Tabela 8.1 apresenta as regras mais usuais, discutidas em mais detalhes adiante.

**Tabela 8.1.** Regras usuais para seqüenciamento de tarefas

SIGLA	ESPECIFICAÇÃO	DEFINIÇÃO	PROPRIEDADE
PEPS	Primeira a Entrar, Primeira a Sair	Na mesma ordem de chegada na máquina.	Prioridade às ordens (clientes) que chegarão antes. Busca minimizar a variação do tempo de permanência na máquina (ou na fábrica).
FIFO	<i>First In First Out</i>	(Obtém-se uma variante desta regra, considerando-se a ordem de chegada na fábrica, não na máquina.)	
MTP	Menor Tempo de Processamento	Em ordem crescente de tempo de processamento no recurso.	Prioridade às ordens de menor tempo, propiciando uma redução das filas e aumento do fluxo.
SPT	<i>Shortest Process Time</i>		
MDP	Menor Data Entrega	Em ordem crescente de prazo de entrega prometido.	Prioridade às ordens mais urgentes, visando reduzir atrasos.
EDD	<i>Earliest Due Date</i>		
MF	Menor Folga	Em ordem crescente das folgas (data prometida menos tempo total de processamento)	Idem.
LS	<i>Least Slack</i>		
MFD	Menor Folga Dinâmica	Idem, considerando apenas o tempo total restante de processamento	Idem, um pouco mais complicada de aplicar que a versão estática.
MFA	Menor Fila Adiante	Próxima ordem é aquela com destino à estação com menor fila no momento	Busca evitar a parada de um processo subsequente.
RC	Razão Crítica	Executar a tarefa com menor RC. Se a RC de alguma tarefa for negativa (i.e. tarefa atrasada), executar a atrasada de menor tempo de processamento	Regra dinâmica que procura combinar a MDP, que considera apenas a data prometida, com a MTP, que considera apenas o tempo de processamento.
CR	<i>Critical Ratio</i>		
	RC=Tempo remanescente (d <sub>i</sub> - data corrente)		

Além dessas regras, há muitas outras. Algumas são denominadas regras locais, pois utilizam informação de uma única estação; outras consideram o estado mais geral da fábrica, sendo denominadas regras globais. Em alguns casos, a programação pode ser obtida aplicando mais de uma regra de prioridade, na tentativa de produzir resultados melhores. A seguir, apresenta-se a aplicação de algumas dessas regras em um exemplo simples de uma única máquina.

**Exemplo 8.1.**

A Tabela 8.2 apresenta dados das tarefas A-F a serem processadas em uma máquina M. Determine e avalie as programações resultantes da aplicação das regras PEPS.

**Tabela 8.2.** Dados para programação de uma máquina

TAREFA	A	B	C	D	E	F
Data de Liberação ( $r_i$ )	0	1	2	4	6	7
Tempo de Processamento ( $p_i$ )	9	7	3	4	8	6
Data Prometida ( $d_i$ )	32	27	26	23	26	28

**– Regra PEPS (ou FIFO)**

É uma forma trivial para obtenção do seqüenciamento. Segundo esta regra, o lote que chega primeiro na máquina é o primeiro a ser processado. O seqüenciamento gerado por esta regra minimiza o tempo de espera do primeiro na fila, depois o tempo de espera do segundo e, assim por diante. No contexto de uma fila de atendimento a pessoas, esta regra é a mais comum, pois incorpora um sentido de justiça, ou seja, o indivíduo que está esperando há mais tempo tem prioridade no atendimento. Na indústria, a regra é particularmente conveniente quando se trata de material com prazo de validade, processando as ordens conforme o prazo de validade (data de chegada) para evitar perdas.

**Tabela 8.3.** Aplicação da regra PEPS no Exemplo 8.1

TAREFA	R	P	D	S	C	F	L	E	T
A	0	9	32	0	9	9	-23	23	0
B	1	7	27	9	16	15	-11	11	0
C	2	3	26	16	19	17	-7	7	0
D	4	4	23	19	23	19	0	0	0
E	6	8	26	23	31	25	5	0	5
F	7	6	28	31	37	30	9	0	9
				<b>Média</b>		<b>19,167</b>			<b>2,333</b>
				<b>Máximo</b>	<b>37</b>	<b>30</b>		<b>23</b>	<b>9</b>

Nessa tabela:

- [r] data de liberação;
- [p] tempo de processamento (incluindo *setup*);
- [d] prazo de entrega;
- [S] data de início (*start time*)<sup>2</sup>:  $S_{[i]} = \max(r_{[i]}, C_{[i-1]})$ ;
- [C] data de conclusão (*completion time*):  $C_i = S_i + p_i$ ;
- [F] tempo de espera ou fluxo (*flow time*):  $F_i = C_i + p_i$ ;
- [L] desvio de pontualidade (*lateness*):  $L_i = C_i - d_i$ ;
- [E] antecipação (*earliness*):  $E_i = \max(0, -L_i)$ ;
- [T] atraso (*tardiness*):  $T_i = \max(0, L_i)$ .

<sup>2</sup> O índice entre colchetes representa a i-ésima tarefa na ordem da fila, ou seja, a tarefa terá início tão logo esteja disponível para processamento e a ordem anterior na seqüência tenha sido completada. No exemplo, não houve parada da máquina por falta de ordens na fila de espera.

A Tabela 8.3 apresenta duas ordens atrasadas, com atrasos de 5 e 9; o tempo médio de fluxo das ordens foi 19,2 e o tempo total para conclusão das ordens igual a 37.

No Exemplo 8.1, as ordens são liberadas em datas diferentes e, por isso, o problema de seqüenciamento é classificado como dinâmico. Por outro lado, quando todas as ordens estão disponíveis na data inicial, classifica-se o problema como problema estático. De forma geral, os problemas estáticos são mais fáceis de resolver que os dinâmicos.

### Exemplo 8.2. (continuando o Exemplo 8.1)

No exemplo anterior, considere-se que todas as ordens estejam disponíveis no instante zero. Determine e avalie o seqüenciamento pelo menor tempo de processamento (MTP).

#### – Regra MTP (ou SPT)

A aplicação desta regra aos dados do Exemplo 8.1 resultou na seqüência apresentada da Tabela 8.4.

**Tabela 8.4.** Aplicação da regra MTP no Exemplo 8.2

TAREFA	R	P	D	S	C	F	L	E	T
C	0	3	26	0	3	3	-23	23	0
D	0	4	23	3	7	7	-16	16	0
F	0	6	28	7	13	13	-15	15	0
B	0	7	27	13	20	20	-7	7	0
E	0	8	26	20	28	28	2	0	2
A	0	9	32	28	37	37	5	0	5
<b>Média</b>						<b>18</b>			<b>1,167</b>
<b>Máximo</b>						<b>37</b>	<b>37</b>	<b>23</b>	<b>5</b>

A partir dos resultados da Tabela 8.4, verifica-se um tempo médio de fluxo igual a 18 e duas ordens atrasadas, com atrasos de 2 e 5. O atraso médio de 1,167 é calculado considerando as 6 ordens, ou seja, dividindo o atraso total de 7 por 6 ordens.

Na verdade, em problemas semelhantes ao do Exemplo 8.2, isto é, seqüenciamento estático em uma máquina, a aplicação da regra de menor tempo de processamento produz a seqüência com menor tempo médio de fluxo. Dando prioridade às ordens menores, ocorre uma redução mais rápida da fila de espera.

Nos casos mais gerais de seqüenciamento dinâmico em oficinas com múltiplas máquinas, a regra MTP promove uma aceleração do fluxo das ordens na oficina à medida que libera as ordens mais rapidamente para os processos seguintes. Isso contribui para a redução do tempo médio de fluxo ou atravessamento (*lead time*) e, por decorrência, a redução do estoque em processo na fábrica. Um risco, nesse caso, é a retenção das tarefas de maior tempo de processamento por um tempo maior, podendo comprometer o cumprimento de prazos de alguns pedidos.

Em serviços, a MTP também pode contribuir para melhoria do atendimento e redução das filas. Esse é o caso dos caixas de pequenos volumes nos supermercados, postos de cobrança eletrônica em pedágios etc. Por outro lado, essa regra deve ser utilizada com cautela, para que os demais clientes não sejam penalizados excessivamente.

### Exemplo 8.3. (continuando o Exemplo 8.2)

Utilizando os dados do exemplo anterior, determine e avalie o seqüenciamento pela menor data de entrega (MDE).

### – Regra MDE (ou EDD)

Nesta regra, as atividades são realizadas em ordem crescente das datas de entrega, ou seja, priorizando as ordens mais urgentes. A Tabela 8.5 apresenta o resultado da programação a partir da aplicação da regra da menor data de entrega.

**Tabela 8.5.** Aplicação da regra MDE no Exemplo 8.3

TAREFA	R	P	D	S	C	F	L	E	T
D	0	4	23	0	4	4	-19	19	0
C	0	3	26	4	7	7	-19	19	0
E	0	8	26	7	15	15	-11	11	0
B	0	7	27	15	22	22	-5	5	0
F	0	6	28	22	28	28	0	0	0
A	0	9	32	28	37	37	5	0	5
<b>Média</b>						<b>19</b>		<b>0,833</b>	
<b>Máximo</b>					<b>37</b>	<b>37</b>	<b>19</b>		<b>5</b>

Analisando os resultados da Tabela 8.5, verifica-se um tempo médio de fluxo de 19 (contra 18, no caso anterior) e apenas uma ordem atrasada (contra 2, no caso anterior).

Pode-se demonstrar que a regra MDE, em problemas estáticos com uma única máquina, gera uma (ou mais de uma, se houver tarefas com datas de entrega iguais) seqüência cujo maior atraso é o menor possível. De forma mais sucinta, pode-se afirmar que a MDE minimiza o atraso máximo. Caso haja alguma seqüência sem nenhuma ordem atrasada, essa seqüência (ou outra equivalente) será obtida pela aplicação da regra do MDE.

Esses três exemplos permitem ao leitor compreender a forma de aplicação das regras de prioridade e o potencial de uso dessas regras em situações reais, quer seja quando a programação é feita diretamente pelo operador ou com o uso de um sistema computacional de apoio à decisão. Embora os exemplos anteriores considerem uma única máquina, essas regras de prioridade são aplicáveis ao caso mais geral de oficinas de máquinas com múltiplos roteiros.

A seguir, discutem-se os problemas específicos de programação para os casos de programação em uma única máquina, máquinas em paralelo, máquinas em série e, finalmente, o caso geral de múltiplas máquinas e diferentes roteiros de produção. Esses problemas e métodos de solução compõem a Teoria de *Scheduling* (ou Programação de Operações) da Pesquisa Operacional.

### 8.2.5 Programação em uma única máquina

A primeira e mais simples classe de problemas é exatamente os problemas de seqüenciamento em uma única máquina. Embora, na prática, não haja fábricas com uma única máquina, o estudo desse primeiro caso se justifica por duas razões.

Primeiro, por uma razão pedagógica, uma vez que os conceitos e métodos de programação bem compreendidos permitirão ao leitor avançar no estudo dos casos mais gerais.

Segundo, do ponto de vista prático, pode-se, em alguns casos, simplificar o problema mais geral de programação considerando-se como um problema de uma máquina. Por exemplo, na produção em lotes em linhas, pode-se considerar a linha inteira como uma única máquina. Na indústria de processos, por exemplo, a planta inteira pode ser modelada como uma fábrica, e sua programação analisada como um problema de programação de uma única máquina.

Na produção intermitente com múltiplas máquinas, quando há um recurso gargalo dominante, pode-se aplicar os conceitos de programação de uma única máquina para programação do recurso gargalo. Uma vez determinada essa seqüência, as ordens são liberadas para a fábrica de

forma a manter um estoque de ordens diante do recurso gargalo, conforme um sistema de produção puxada.

Nos problemas de única máquina estáticos (todas as ordens disponíveis na data zero), destacam-se dois resultados clássicos apresentados na seção anterior, isto é, o seqüenciamento pela regra de menor tempo de processamento minimiza o tempo médio de fluxo, e a regra da menor data de entrega minimiza o atraso máximo. É interessante destacar que, se o objetivo for minimizar o atraso médio, não há uma regra ou algoritmo eficiente para solução do problema.

Ainda com relação ao cumprimento de prazos, apresenta-se um método que minimiza o número de ordens atrasadas, conhecido como **Algoritmo de Moore**.

### Algoritmo de Moore

*Início*

Seqüencie as tarefas por MDE.

*Enquanto* houver “tarefa atrasada” e “não descartada” *faça*:

identifique, na seqüência, a primeira tarefa atrasada;

considere as tarefas até a primeira tarefa atrasada, escolha a de maior tempo de processo e descarte-a da lista de tarefas;

*FimEnquanto*

A seqüência remanescente, seguida das tarefas descartadas, apresenta o número mínimo de tarefas atrasadas.

*Fim*

A seguir, apresenta-se aplicação desse algoritmo.

#### Exemplo 8.4. Algoritmo de Moore

Considerem-se os dados das tarefas A-F apresentados na Tabela 8.6. Determine a seqüência com menor número de ordens atrasadas.

**Tabela 8.6.** Dados do Exemplo 8.4

TAREFA	A	B	C	D	E	F
Tempo de Processamento (pi)	9	7	3	4	8	6
Data Prometida (di)	32	27	26	23	26	28

**Passo 1:** A Tabela 8.7 apresenta as ordens na seqüência da MDE.

**Tabela 8.7.** Algoritmo de Moore: Passo 1

TAREFA	P	D	S	C	L	T
D	4	15	0	4	-11	0
<b>E</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>-4</b>	<b>0</b>
C	3	17	12	15	-2	0
B	7	18	15	22	4	4
F	6	19	22	28	9	9
A	9	24	28	37	13	13

**Passo 2:** Na Tabela 8.6, identifica-se a tarefa E, que apresenta o maior tempo de processamento dentre as ordens não atrasadas e a ordem B (primeira atrasada). Descartando a ordem E, tem-se a seqüência da Tabela 8.8.

**Tabela 8.8.** Algoritmo de Moore: Passo 2

TAREFA	P	D	S	C	L	T
D	4	15	0	4	-11	0
C	3	17	4	7	-10	0
<b>B</b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>-4</b>	<b>0</b>
F	6	19	14	20	1	1
A	9	24	20	29	5	5
E	8	16	29	37	21	21

**Passo 3:** Repetindo o procedimento do Passo 2, descarta-se a tarefa B, resultando na seqüência da Tabela 8.9.

**Tabela 8.9.** Algoritmo de Moore: Passo 3

TAREFA	P	D	S	C	L	T
D	4	15	0	4	-11	0
C	3	17	4	7	-10	0
F	6	19	7	13	-6	0
A	9	24	13	22	-2	0
E	8	16	22	30	14	14
B	7	18	30	37	19	19

Com o Passo 3, encerra-se o algoritmo e a seqüência ótima é D-C-F-A-E-B, que apresenta duas ordens atrasadas (E e B). Verifique que essa solução apresenta um atraso médio de 5.5, maior que o atraso médio da seqüência MDE (Tabela 8.6), que apresenta atraso médio de 4.33 e 3 ordens em atraso (B, F e A).

Repare que, no que tange ao objetivo do método – minimizar o número de tarefas em atraso –, a seqüência das tarefas dadas como definitivamente atrasadas é irrelevante. Na prática, porém, pode ser interessante alguma seqüência particular, por exemplo, a MDE de forma a minimizar o maior atraso. Isso porque, como era de se esperar, a redução do número de trabalhos em atraso é obtida à custa de deixar que algumas tarefas fiquem muito atrasadas.

Para finalizar esta seção, discute-se o problema de seqüenciamento em que os tempos de preparação ou *setups* dependem da seqüência. Essa situação ocorre com certa freqüência na produção, por exemplo, em processos de pintura, nos quais a passagem de cores claras para escura requer menos tempo de preparação (limpeza) que na situação inversa, isto é, de cores escuras para cores mais claras.

Conforme mencionado anteriormente, quando os *setups* são independentes da seqüência, esses tempos podem ser incluídos no tempo total de processamento da tarefa. No caso de *setups* dependentes da seqüência, deve-se separar o tempo de *setup* do tempo de processamento. Nessas situações, é interessante determinar seqüências que tenham o menor tempo total de *setup* para que se tenha a maior produtividade do recurso máquina.

Do ponto de vista matemático, o problema de minimização do tempo total de *setup* assemelha-se ao problema clássico do caixeiro-viajante, que consiste em minimizar a distância total percorrida (tempo de percurso) de um mensageiro ou vendedor, dado um conjunto de localidades a visitar. Métodos exatos e heurísticos para solução do problema são discutidos nas referências sobre Programação (*Scheduling*) listadas ao final deste capítulo

### 8.2.6 Programação em Máquinas Paralelas

A partir do problema de uma única máquina, o próximo passo no estudo de problemas de programação consiste na consideração de múltiplas máquinas. Inicialmente, consideram-se duas possibilidades, isto é, a existência de máquinas “em série” e “em paralelo”.

No primeiro caso, considera-se um conjunto de “ $n$ ” ordens, que devem passar por “ $m$ ” máquinas em seqüência. No segundo, há “ $m$ ” máquinas idênticas (“em paralelo”) e “ $n$ ” ordens, que devem ser processadas em qualquer uma das máquinas. Nesta seção, discute-se o problema de máquinas paralelas e, na seção seguinte, o problema de máquinas em série, conhecido na literatura acadêmica pela denominação *flow shop scheduling*.

Para ilustrar a aplicação do problema de seqüenciamento em máquinas paralelas, considere um processo de fabricação em que, no gargalo do processo, há mais de uma máquina disponível para processamento das ordens. Por exemplo, um fabricante de artefatos de plástico que disponha de mais de uma máquina injetora para fabricação dos produtos. Considerando o processo de injeção como crítico, deve-se programar a produção com base nas máquinas de injeção e, a partir daí, puxar a produção. Neste exemplo, as máquinas podem ou não estar dispostas fisicamente lado a lado. A caracterização “em paralelo” equivale dizer que há alternativas de processamento de cada ordem em diferentes máquinas.

Em serviços, essa situação similar ocorre, por exemplo, em qualquer processo de atendimento com múltiplos servidores e uma fila única. Outro exemplo: suponha uma empresa de manutenção de equipamentos que disponha de “ $m$ ” equipes de manutenção e, em um dado mês, “ $n$ ” chamados para atender. Nesse caso, também se caracteriza um problema de seqüenciamento em máquinas (equipes de manutenção) paralelas.

Enquanto, no atendimento de pessoas, conforme dito anteriormente, é natural o processamento pela ordem de chegada, na produção, pode-se aplicar, e freqüentemente isso ocorre, outras regras de seqüenciamento das ordens, com objetivo de melhorar algum(ns) indicador(es) de desempenho associado(s) a cumprimento de prazos, velocidade de fluxo e utilização da capacidade.

A partir desses exemplos, pode-se formalizar o problema de seqüenciamento em máquinas paralelas, que consiste basicamente em: a) designar cada ordem para uma das máquinas; b) seqüenciar as ordens designadas para cada uma das máquinas. Nesse contexto, formulam-se ainda diferentes problemas, dependendo do objetivo e das restrições que se consideram.

Nesta seção, considera-se apenas o caso particular em que todas as máquinas são idênticas, os tempos de processamento são independentes das seqüências em cada máquina e o objetivo consiste em minimizar o tempo total de conclusão das ordens (*makespan*), que, por premissa, estão todas disponíveis no instante inicial (problema estático). A minimização do tempo total equivale a disponibilizar os recursos produtivos (máquinas) no menor prazo e equalizar a carga das várias máquinas.

Um procedimento clássico consiste na aplicação da regra Maior Tempo de Processamento Primeiro ou, em inglês, *Longest Process Time* (LPT). O procedimento é o seguinte:

#### Algoritmo LPT para Máquinas em Paralelo

*Início*

Seqüencie as tarefas em ordem decrescente do tempo de processamento (LPT);

Enquanto houver “tarefa não alocada” faça:

Aloque a ordem de maior tempo de processamento na máquina que estiver mais cedo disponível.

(Em caso de empate, escolha uma delas arbitrariamente);

*FimEnquanto*

*Fim*

Esse algoritmo irá minimizar o tempo total de execução das ordens, ou seja, o prazo para conclusão da última ordem processada. A seguir, apresenta-se um exemplo de aplicação desse algoritmo.

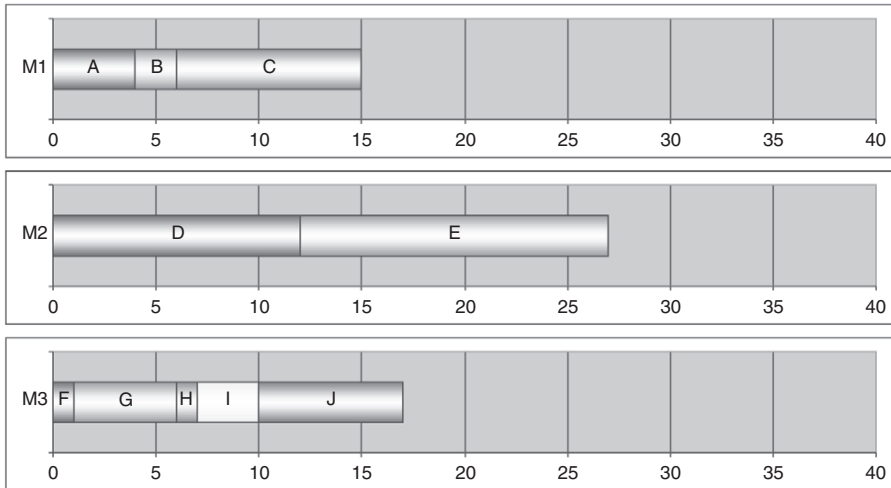
**Exemplo 8.5.** Regra LPT para máquinas paralelas

Neste exemplo, pretende-se seqüenciar 10 ordens em 3 máquinas idênticas, visando minimizar o tempo total (*makespan*). Os tempos de processamento (incluindo setup) estão na Tabela 8.10.

**Tabela 8.10.** Dados do Exemplo 8.5

TAREFA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tempo de Processamento ( $p_j$ )	4	2	9	12	15	1	5	1	3	7

Uma solução inicial para o problema seria: alocar as três primeiras ordens na máquina 1, as duas seguintes na máquina 2 e as demais na máquina 3, conforme Figura 8.1. Nesta solução, o tempo total foi de 27 unidades (horas, dias etc.), com grande diferença de carga entre as máquinas (15, 17 e 27, respectivamente).



**Figura 8.1.** Solução inicial.

Aplicando a Heurística do LPT para o problema, obtém-se uma solução com menor tempo total de trabalho possível, que está apresentada na Tabela 8.10 e graficamente na Figura 8.2.

Para finalizar o exemplo, o leitor pode verificar que a seqüência em cada máquina está na ordem decrescente dos tempos de processamento. Caso se deseje, mantendo a mesma designação das ordens em cada máquina, reduzir o tempo médio de fluxo (ou permanência) das ordens, basta inverter as seqüências em cada máquina, começando com as ordens mais rápidas. Perceba que, como visto anteriormente, a alteração da seqüência em uma dada máquina não altera o tempo total na máquina e, conseqüentemente, não haverá alteração no tempo total da programação completa. A Figura 8.3 ilustra a programação final gerada.

Comparando as soluções nas Figuras 8.2 e 8.3, verifica-se uma grande redução no tempo médio de fluxo, de 16,6 para 9, mantendo o mesmo tempo total de 20.



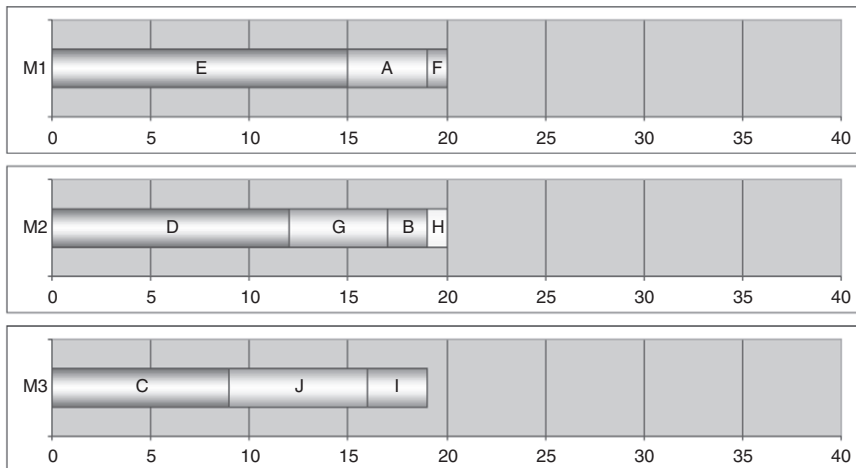


Figura 8.2. Solução obtida pela heurística LPT.

Tabela 8.11. Seqüenciamento pela heurística LPT, Exemplo 8.5

MÁQUINA	ORDEM	TAREFA	P	T
1	1	E	15	15
1	2	A	4	19
1	3	F	1	20
2	1	D	12	12
2	2	G	5	17
2	3	B	2	2
2	4	H	1	3
3	1	C	9	12
3	2	J	7	19
3	3	I	3	22

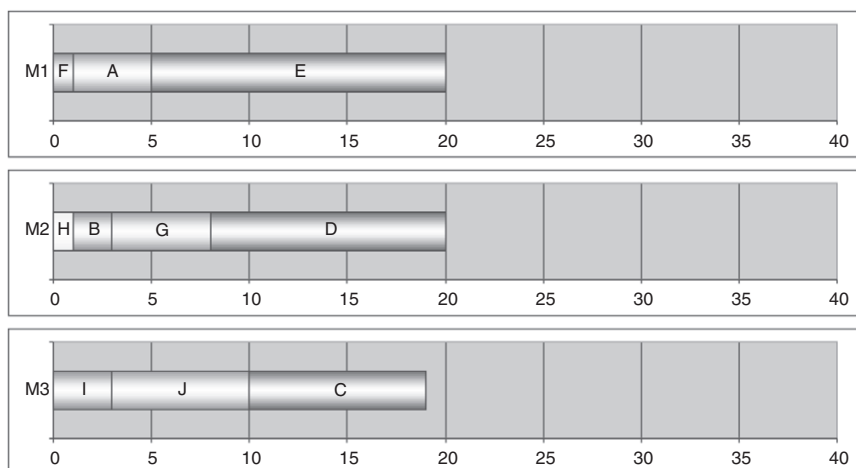


Figura 8.3. Solução modificada pela inversão das seqüências em cada máquina.

**8.2.7 Programação para máquinas em série**

Esta seção trata do problema de programação para máquinas em série ou, como é mais conhecido na literatura acadêmica, *flow shop scheduling*. Essa situação ocorre nos processos de produção em lote, nos quais um conjunto de “n” ordens passa por uma seqüência de “m” máquinas, com tempos de *setup* e operação variáveis. Como exemplo, pode-se citar uma gráfica de grande porte que produz revistas para vendas nas bancas e para assinantes. Cada número da revista tem uma tiragem e, evidentemente, conteúdos diferentes. Basicamente, o processo de produção compreende fabricação das matrizes, impressão, acabamento e expedição. A programação consiste em seqüenciar a produção das revistas, buscando minimizar atrasos, maximizar a velocidade de fluxo das ordens (redução dos *lead times*) e a utilização da capacidade (redução de *setups*).

Do ponto de vista teórico, diferenciam-se duas situações, denominadas *flow shop* puro e geral. No primeiro, todas as ordens passam obrigatoriamente por todas as máquinas. No segundo, algumas ordens podem “pular” algumas etapas, mantendo, no entanto, um sentido dominante de fluxo. O problema de programação pode, novamente, ser classificado em estático, quando todas as ordens estão disponíveis no instante inicial; ou dinâmico, quando as ordens chegam ao longo do tempo. Os tempos de *setup* podem ser dependentes ou não da seqüência; quando não, são incluídos nos tempos de operação. Além disso, pode-se considerar ou não restrições de espaço físico para filas entre as máquinas; nesse caso, quando a fila adiante atinge o limite, a máquina ou processo anterior é bloqueado.

Com relação aos objetivos, formulam-se diferentes problemas conforme o indicador de desempenho considerado, que normalmente traduz um dos três tipos de objetivos da programação apresentados anteriormente, isto é, cumprimento de prazos, velocidade de fluxo e utilização da capacidade. Para simplificar a solução do problema, pode-se considerar que a seqüência na primeira máquina será repetida nas demais; dessa forma, o número de alternativas de solução será menor. Esse tipo de solução é denominado programação de permutação única.

A seguir, discute-se o caso particular de problemas de programação em *flow shop* puro e estático, tendo com indicador de desempenho o tempo total de conclusão das ordens (*makespan*). Para melhor compreensão do problema, acompanhe o exemplo a seguir.

**Exemplo 8.6.** Programação em duas máquinas em série

Neste exemplo, deve-se seqüenciar cinco ordens em duas máquinas, visando minimizar o tempo total (*makespan*). Os tempos de processamento (incluindo *setup*) estão na Tabela 8.12.

**Tabela 8.12.** Dados do Exemplo 8.6

ORDEM	TEMPO DE PROCESSAMENTO (P <sub>j</sub> )	
	MÁQUINA 1	MÁQUINA 2
A	6	3
B	1	3
C	8	6
D	4	6
E	2	5

Uma solução inicial para o problema seria alocar as ordens nas máquinas, na mesma seqüência apresentada na Tabela 8.6. Essa alocação resultaria na programação apresentada na Figura 8.4.

Nesta solução, o tempo total foi de 32, mas claramente poderia ser melhorado alterando a seqüência de produção. Na realidade, há 5! = 120 alternativas de solução para o problema. Encorajamos o leitor a gerar novas seqüências que reduzam o tempo total de processamento das ordens.

Para o caso particular de duas máquinas, apresentado no exemplo anterior, há um algoritmo, conhecido como **algoritmo de Johnson**, que produz uma seqüência com tempo total mínimo, detalhado no quadro a seguir.

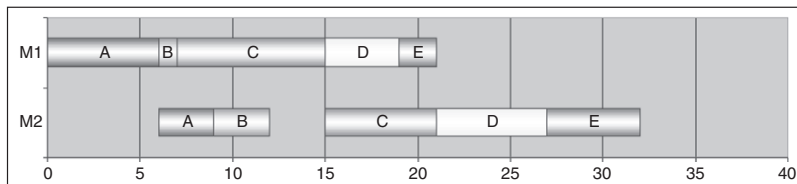


Figura 8.4. Solução inicial.

### Algoritmo de Johnson para duas Máquinas em Série

*Início*

*Enquanto* houver "tarefa não alocada" *faça*:

    Considere todas as tarefas ainda não programadas e identifique a tarefa com menor tempo de processamento em qualquer uma das máquinas.

    Se o menor tempo de processamento ocorrer na primeira máquina (empates quebrados arbitrariamente);

*então*, programe a tarefa correspondente na primeira posição disponível na seqüência;

*senão*, programe a tarefa correspondente na última posição disponível na seqüência.

    Descarte a tarefa correspondente da lista de ordens não-programadas.

*FimEnquanto*

*Fim*

Para exemplificar a lógica do algoritmo, este será aplicado ao exemplo anterior na busca da solução ótima quanto ao tempo total de conclusão das ordens (*makespan*).

#### Exemplo 8.6. Programação em duas máquinas em série (cont.)

Inicia-se o procedimento com uma seqüência vazia: [ \_ , \_ , \_ , \_ , \_ ].

**Passo 1:** Na Tabela 8.12, identifica-se a ordem B com tempo de processamento 1 na máquina 1. Assim, a ordem B passa a ocupar a primeira posição disponível, no caso, a posição 1. Então, tem-se a solução parcial [ B , \_ , \_ , \_ , \_ ], e a ordem B é descartada da lista de ordens não-programadas. (Sugere-se riscar a linha correspondente às ordens descartadas na tabela).

**Passo 2:** A seguir, identifica-se a ordem E com tempo de processamento 2 também na máquina 1, que passa a ocupar a primeira posição disponível, ou seja, a posição 2. A nova solução parcial fica [ B , E , \_ , \_ , \_ ], e a ordem E é descartada.

**Passo 3:** A próxima ordem com menor tempo é a ordem A, com tempo de processamento 3 na máquina 2. Nesse caso, como o tempo refere-se à operação na máquina 2, a ordem vai para a última posição disponível na seqüência e é descartada da lista de ordens não-programadas. Tem-se uma nova solução parcial dada por: [ B , E , \_ , \_ , A ].

**Passo 4:** Dentre as ordens restantes, identifica-se a ordem D com tempo de processamento 4 na máquina 1. Assim, a nova solução seria: [ B , E , D , \_ , A ].

**Passo 5:** Finalmente, restou a ordem C, que irá ocupar a única posição disponível. A seqüência completa fica sendo: [ B , E , D , C , A ].

A solução obtida pelo uso do algoritmo está na Figura 8.5. Comparada à solução inicial (Figura 8.4), verifica-se que o tempo total de processamento caiu de 32, na solução inicial, para 24, na solu-

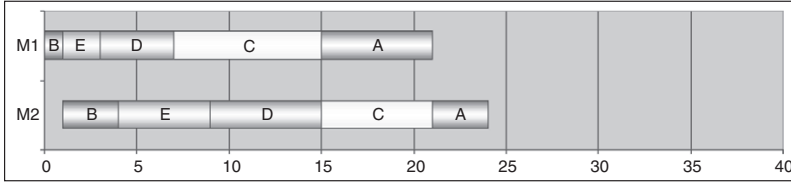


Figura 8.5. Solução ótima para minimizar o tempo total.

ção ótima. Observa-se também uma menor ociosidade (“buracos” no gráfico de Gantt) na máquina 2 na solução ótima em relação à solução inicial.

A melhoria da solução deve-se ao fato de iniciar a seqüência com ordens de menor tempo de processamento na máquina 1, o que reduz a ociosidade inicial da máquina 2. Além disso, deixando as ordens com menor tempo de processamento na máquina 2 para o final, também se contribui para a redução do tempo total. Esta é a essência do algoritmo de Johnson, ou seja, começar com as ordens de menor tempo de processamento na primeira máquina e terminar com as ordens com menor tempo de processamento na segunda.

A minimização do *makespan* é desejável porque maximiza a utilização das máquinas e a velocidade de fluxo das ordens que, por sua vez, deve contribuir para a meta de cumprimento de prazos. Infelizmente, os modelos otimizantes não estão disponíveis para casos de *flow shop* com maior número de máquinas ou critérios diferentes do *makespan*. Para essas situações, o programador deve recorrer à técnica de simulação com regras de decisão heurística de modo a gerar e avaliar as alternativas de solução para cada problema. A seguir, apresenta-se um exemplo de seqüenciamento com três máquinas em série a título de ilustração.

**Exemplo 8.7.** Programação em três máquinas em série

Neste exemplo, é necessário seqüenciar cinco ordens em três máquinas, com tempos de processamento apresentados na Tabela 8.13.

Tabela 8.13. Dados do Exemplo 8.7

ORDEM	TEMPO DE PROCESSAMENTO (P <sub>j</sub> )		
	MÁQUINA 1	MÁQUINA 2	MÁQUINA 3
A	6	3	1
B	1	3	6
C	9	6	3
D	3	6	9
E	2	5	2

As Figuras 8.6 e 8.7 apresentam duas soluções para o problema. A segunda solução constitui a solução ótima do problema em termos de tempo total de programação. É importante que, para outros critérios, como prazo de entrega, talvez a segunda solução não seja a melhor. Nesse caso, pode haver outra solução com menor eficiência na utilização das máquinas, porém com desempenho superior em cumprimento de prazos.

Na seção seguinte, aborda-se o problema de programação com múltiplas máquinas e ordens com roteiros diferentes. Esse problema é conhecido na literatura como *job shop scheduling*, ou, em português, programação em oficinas de máquinas (com diferentes roteiros).

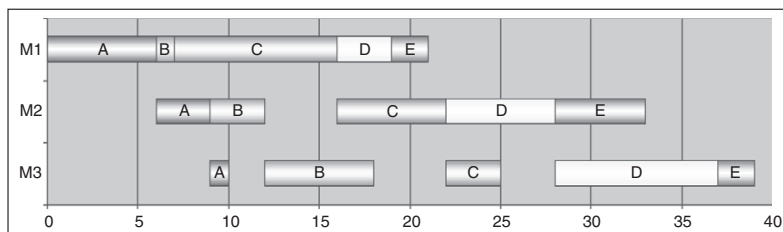


Figura 8.6. Solução inicial pela regra FIFO.

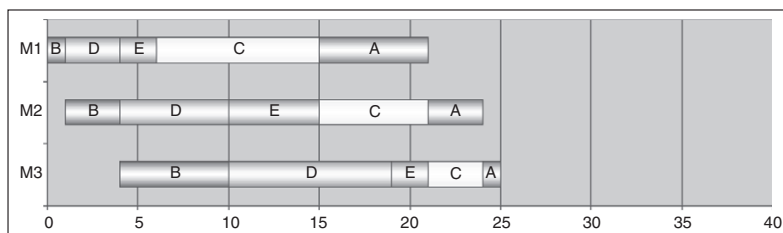


Figura 8.7. Solução ótima com base no tempo total.

### 8.2.8 Programação em oficinas de máquinas

A programação ou carregamento em oficina consiste na determinação da programação das operações de produção em cada máquina, respeitando tanto a disponibilidade do recurso (máquina) como as precedências das operações de cada ordem, segundo seu roteiro de fabricação.

Se os problemas de seqüenciamento em uma máquina de forma ótima para um dado critério já podem ser bem complicados, o problema de determinação de uma programação ótima em um *job shop* apresenta tamanha complexidade que não se pode esperar mais do que uma “boa” programação, gerada a partir de alguma heurística computacionalmente eficiente.

Na programação de uma oficina de serviço (*job shop*), em que cada ordem pode seguir um roteiro diferente, a alternativa mais viável é simular no computador o desempenho do sistema sob diversas regras de prioridade, como as já vistas nas seções anteriores deste capítulo.

Devido ao grande número de possibilidades de regras de prioridades e critérios de desempenho, mesmo a análise de problemas com algumas poucas ordens e máquinas tende a se tornar bastante complicada caso não se disponha de uma ferramenta computacional adequada. Por isso, são tão importantes os programas de carregamento finito, abordados na seção subsequente e que permitem simular diversas regras de seqüenciamento e critérios de desempenho. Para ilustrar o problema de programação em oficinas, apresenta-se um exemplo com três máquinas e seis ordens de produção, adaptado de Buffa e Sarin (1987).

#### Exemplo 8.8. Programação em oficina com três máquinas

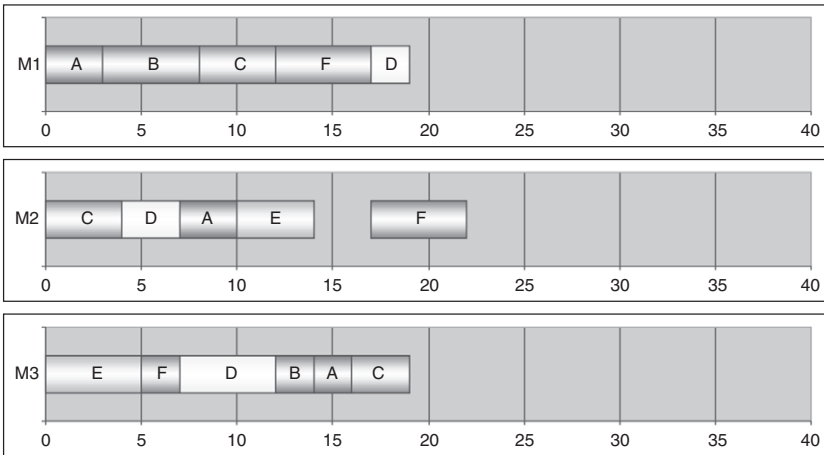
A Tabela 8.14 apresenta seis ordens, cada ordem com um roteiro de produção e tempos de operação específicos. Por exemplo, a ordem C tem sua primeira operação de produção na máquina 2, com tempo de operação de 4 unidades; então segue para a máquina 1, onde será processada por mais 4 unidades de tempo e, finalmente, segue para a máquina 3, onde o tempo de operação será igual a 3. As ordens B e E possuem um roteiro com apenas duas operações/máquinas, as demais três. Na última coluna, as datas esperadas de conclusão de cada ordem.

Definido o problema, apresentam-se, a seguir, três alternativas de solução geradas a partir da aplicação das seguintes regras de seqüenciamento: i) ordem de chegada na máquina (FIFO); ii) menor data de entrega primeiro (MDE) e iii) menor tempo de processamento primeiro (MTP).

**Tabela 8.14.** Ordens de produção em *job shop*

ORDEM	ROTEIRO E TEMPO DE FABRICAÇÃO			DATA DE ENTREGA
	1	2	3	
A	M1	M2	M3	10
	3	3	2	
B	M1	M3		13
	5	2		
C	M2	M1	M3	12
	4	4	3	
D	M2	M3	M1	18
	3	5	2	
E	M3	M2		14
	5	4		
F	M3	M1	M2	15
	2	5	5	

A Figura 8.8 apresenta a primeira solução do problema, obtida pela regra FIFO.



**Figura 8.8.** Programação da oficina pela regra FIFO.

Inicialmente, as ordens A e B estão na fila da máquina 1; C e D, na fila da máquina 2; E e F na fila da máquina 3. Iniciando a programação com as ordens A, C e E, nas máquinas 1, 2 e 3 respectivamente, tem-se, no instante 3, a conclusão da primeira operação da ordem A na máquina e esta segue para a máquina 2, conforme seu roteiro de fabricação. Simultaneamente, a ordem B é carregada na máquina 1.

No instante 4, ocorre a conclusão da primeira operação da ordem C na máquina 2; a ordem segue para a fila da máquina 1, que está processando a ordem B. Na máquina 2, nesse instante, há duas ordens aguardando, D e A; como a ordem D chegou primeiro (no instante zero), ela tem prioridade. A ordem A será a próxima a ser carregada nessa máquina.

Prosseguindo com esse raciocínio, constrói-se a programação completa, com todas as operações das seis ordens nas três máquinas. As programações baseadas nas regras MDE e MTP podem ser construídas de forma análoga. As soluções correspondentes são apresentadas nas Figuras 8.9 e 8.10, respectivamente, para as regras MDE e MTP.

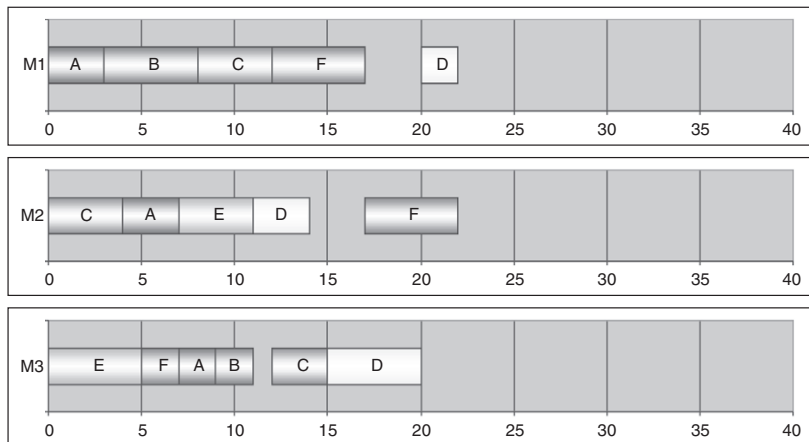


Figura 8.9. Programação da oficina pela regra MDE.

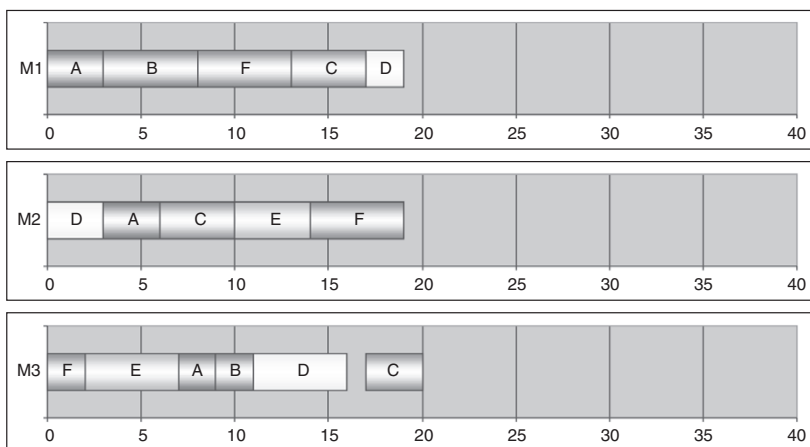


Figura 8.10. Programação da oficina pela regra MTP.

Para concluir o exemplo, apresenta-se na Tabela 8.15 uma comparação dos resultados obtidos com cada uma das regras. Analisando os resultados, percebe-se que a regra MTP produz uma programação com menor tempo total de processamento e atraso total; em termos de número de ordens atrasadas, empata com a regra MDE, que também foi um pouco melhor em relação ao tempo médio de fluxo (*lead time*). A regra FIFO não obteve melhor resultado em nenhum dos quesitos de avaliação considerados.

Tabela 8.15. Análise dos resultados

REGRA	ORDENS ATRASADAS	ATRASO TOTAL	FLUXO MÉDIO	MAKESPAN
Ordem de Chegada (FIFO)	5	22	17,33	22
Menor Data de Entrega (MDE)	3	14	15	22
Menor Tempo de Processamento (MTP)	3	13	15,33	20

Evidentemente, a análise anterior fica restrita ao exemplo considerado. No entanto, sabe-se que a regra MDE produz, em geral, menor congestionamento da oficina, isto é, menores tempos de per-

manência das ordens (tempos de fluxo). A maior velocidade de fluxo das ordens também reflete melhor desempenho com relação ao cumprimento de prazos. Por isso, juntamente com regras que consideram prazos de entrega, constitui uma alternativa importante para programação da produção em oficinas com múltiplos roteiros de produção.

### 8.2.9 Considerações sobre modelos da Teoria de Programação

Nas quatro seções anteriores, foram apresentados alguns conceitos e modelos da Teoria de Programação (*Scheduling*) que tratam, do ponto de vista teórico, o problema de programação da produção. Apesar da grande quantidade de conhecimento científico desenvolvido pelos pesquisadores do mundo inteiro durante quase meio século de pesquisas, os problemas reais de programação ainda impõem desafios tanto à comunidade acadêmica quanto aos profissionais de Engenharia de Produção e Sistemas de Informação.

Hoop e Spearman (2000), por exemplo, destacam que os modelos matemáticos partem de premissas muito restritivas para que possam ter um tratamento matemático melhor, o que compromete a aderência desses modelos aos problemas reais. Dentre as hipóteses simplificadoras dos modelos matemáticos, consideradas na maioria dos modelos, destacam-se:

- todas as ordens estão disponíveis na data zero (problemas estáticos);
- os tempos de processamentos são constantes;
- não consideram *setup* dependente das seqüências;
- não consideram quebra de máquinas;
- não consideram interrupção do processamento de um lote;
- não consideram cancelamento de ordens, entre outras.

Mesmo com hipóteses simplificadoras, a otimização em problemas de otimização só é viável para casos particulares e de menor porte, devido ao rápido crescimento do conjunto de soluções possíveis para o problema. A natureza combinatória do problema justifica a ênfase no desenvolvimento de soluções heurísticas, isto é, a proposição de algoritmos que produzam “boas” soluções, não necessariamente ótimas.

No entanto, a gestão do problema de programação não se limita ao seqüenciamento das ordens. O gerente de produção pode atuar na negociação dos prazos de entrega para que, durante a programação, não se tenha uma situação tão severa. As ordens podem ser fracionadas, utilizando melhor a disponibilidade dos recursos (“buracos” na programação). A transferência de uma ordem, de uma máquina para a máquina seguinte, não precisa aguardar a conclusão do processamento de todas as peças do lote.

A capacidade de produção, considerada constante nos modelos teóricos, pode ser variada com o uso de horas-extras e subcontratação. Além disso, o programador deve concentrar sua atenção nos recursos gargalos e ordens críticas. Enfim, diferentes iniciativas podem ser implementadas para tornar o problema de programação da produção na fábrica mais gerenciável.

De qualquer forma, os conhecimentos teóricos têm um papel importante na capacitação dos gerentes de produção e, cada vez mais, esse conhecimento está sendo disponibilizado aos profissionais, principalmente na forma de softwares de planejamento e controle da produção.

## 8.3 PROGRAMAÇÃO DE ATIVIDADES EM PROJETOS

No contexto da Engenharia, a palavra **projeto** tem múltiplos significados. Em alguns contextos é associada ao desenho de um planta de uma casa (projeto arquitetônico). Em outros essa palavra é associada ao desenho de um produto ou de mecanismos (desenho mecânico), podendo ainda ser a representação gráfica de instalações elétricas e hidráulicas. No contexto do Planejamento e Controle da Produção, a palavra projeto pode ser considerada como sinônimo de **empreendimento**.

Segundo a ISO10006 (1997, p.1):



empreendimento é um processo único, consistindo em um conjunto de atividades coordenadas e controladas, com data de início e fim, comprometido para alcançar um objetivo em conformidade com requisitos especificados, incluindo restrições de tempo, custo e recursos.

### 8.3.1 As fases e abrangência do projeto

O PMI (1996) considera que o ciclo de vida do empreendimento é composto de quatro fases:<sup>3</sup> a viabilidade, o planejamento/concepção, a produção e a transferência/partida das instalações. A Figura 8.11 apresenta uma associação do consumo de recursos a cada fase do projeto.

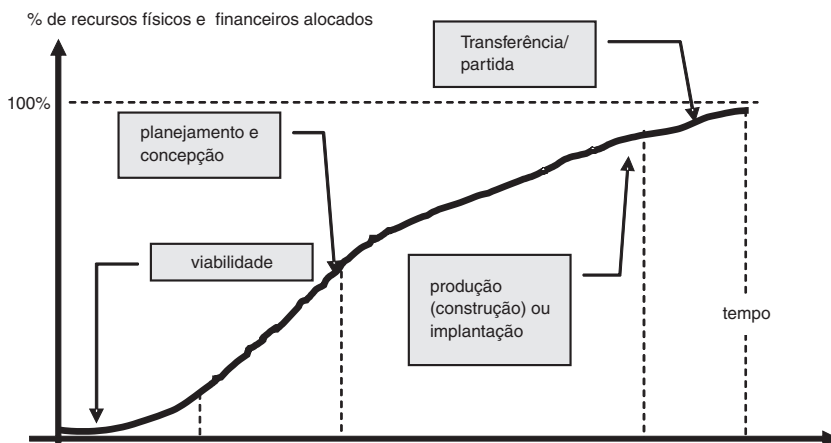


Figura 8.11. Fases do ciclo de vida do projeto.

Em uma visão mais abrangente, Halpin *et al.* (1998) descrevem que o desenvolvimento de empreendimento de construção é composto, geralmente, por onze etapas, que são:

- identificação da oportunidade;
- viabilidade inicial do empreendimento;
- decisão da elaboração da documentação de engenharia conceptual;
- elaboração da citada documentação;
- decisão de construir instalações que definam claramente as necessidades do empreendimento;
- solicitação de cotação para empresas com objetivo de escolher quem construirá as instalações;
- seleção da(s) empresa(s) que implantará(ão) o empreendimento;
- execução da documentação de engenharia, suprimento de equipamentos e materiais e construção e montagem das instalações;
- testes operacionais das instalações construídas;
- operação e manutenção das instalações;
- desmobilização das instalações ou manutenção sem produção, após a vida útil do empreendimento.

A seguir são apresentados conceitos e instrumentos específicos para o planejamento de projetos,<sup>4</sup> tais como: redes de projeto; PERT, CPM e compactação de projetos.

<sup>3</sup> Analisando o projeto de construção do produto Paulínia-Cauaiabá, Silva e Costa (2001) propõem agregar uma quinta fase a essa estrutura: a fase da operação da planta. Embora a etapa seja considerada fora do contexto de planejamento em toda a literatura encontrada sobre o assunto, a inclusão da mesma no caso específico implicou em redução significativa de custos.

<sup>4</sup> Os aspectos relacionados ao Controle ou Acompanhamento de Projetos são tratados no Capítulo 7 e no Apêndice B.

### 8.3.2 Rede de atividades

Um projeto é composto por um conjunto de atividades, as quais são caracterizadas por: consumo de tempo, trabalho e recursos; relações de precedência e seqüenciamento.

As relações de precedência das atividades são representadas em um grafo direcionado, denotado por *rede* do projeto. A rede do projeto é, então, a representação gráfica das relações entre as atividades. A Figura 8.12 apresenta um grafo direcionado com os elementos (nós e setas) que compõem uma rede de projeto.

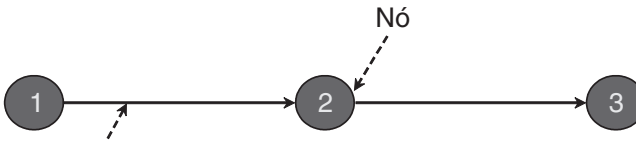


Figura 8.12. Nós e setas como elementos que compõem uma rede de projeto.

As seguintes leituras podem ser extraídas desse grafo:

- O nó 1 precede o nó 2.
  - Ou seja: a ocorrência do nó 2 depende da ocorrência prévia do nó 1.
- O nó 2 precede o nó 3.
  - Ou seja: a ocorrência do nó 3 depende da ocorrência prévia do nó 2.
- A seta 1-2 precede a seta 2-3.
  - Ou seja: a ocorrência da seta 2-3 depende da ocorrência prévia da seta 1-2.

#### Formas de representação

Existem duas formas de representação das atividades na rede do projeto: a *americana* e a *francesa*.

- Representação *americana*: os **nós** representam atividades<sup>5</sup> e as setas ilustram as relações de precedência.
- Representação *francesa*: as **setas** representam as atividades<sup>6</sup> e os nós representam eventos no tempo (início ou fim de uma atividade).

A Figura 8.13 apresenta a rede de um segmento de um projeto de construção de uma casa. Essa rede é apresentada segundo a forma americana, na qual as atividades são representadas nos nós da rede. Nessa rede são identificadas duas atividades: construir formas e concretar (preencher as formas com concreto).

A Figura 8.14 apresenta a rede desse mesmo segmento de projeto na representação francesa. Nela as setas indicam as atividades e os nós indicam eventos. Assim, nessa rede:

- Nó 1 indica o evento “início da atividade de construção de formas”.
- Nó 2 indica os eventos:
  - “término da construção das formas”.
  - “início da concretagem”.
- Nó 3 indica o evento “término da concretagem”.

#### Atividades dummy

Atividades **concorrentes** são aquelas que têm os mesmos eventos de início e de fim. Nesse caso a representação delas na rede ocorre de forma especial, com a introdução de uma atividade *dummy*.

<sup>5</sup> *Activities On Nodes* (AON) ou Atividades nos Nós.

<sup>6</sup> *Activities On Arrows* (AOA) ou Atividades nas Setas.

Uma atividade *dummy* não consome tempo, sendo introduzida na rede apenas para indicar uma relação de precedência de duas atividades concorrentes (com o mesmo evento de início e o mesmo evento de fim).

A Figura 8.15 apresenta uma representação gráfica **incorreta** de duas atividades concorrentes. Neste exemplo, considera-se que as atividades *compra de material* e *contratação da equipe de construção*:

- podem ocorrer em paralelo;
- **têm os mesmos eventos de início e de fim** (eventos 2 e 3, respectivamente).

Já as Figuras<sup>7</sup> 8.16a e 8.16b ilustram as formas corretas de redes com a representação de atividades concorrentes, através da introdução de uma atividade *dummy*.

*Atividades em paralelo versus atividades concorrentes*

É importante destacar que nem todas as atividades que podem ocorrer simultaneamente (ou em paralelo) são atividades concorrentes. Atividades concorrentes, além de poderem ocorrer simultaneamente, têm os **mesmos** eventos de início e de fim.

A Figura 8.17 apresenta uma rede com atividades que podem ocorrer em paralelo,<sup>8</sup> mas que não têm o mesmos eventos de início e de fim. Nesse caso não é incluída a atividade *dummy*.

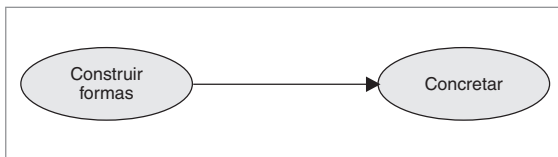
*Passos para elaboração da rede do projeto*

Os seguintes passos são desenvolvidos na elaboração de uma rede de atividades ou rede do projeto:

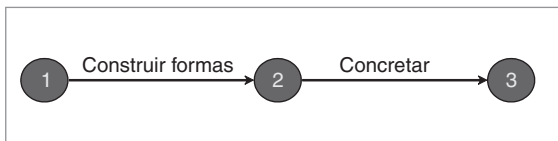
- identificar as atividades que devem ser efetuadas para a execução do projeto;
- estabelecer relações de precedência entre as atividades identificadas no passo anterior.

<sup>7</sup> Observe que a única diferença entre as Figuras 8.16.a e 8.16.b é a direção da atividade *dummy*. As duas formas são válidas. Como as duas formas são corretas, pode-se concluir que a direção da atividade *dummy* não influencia na análise da rede do projeto.

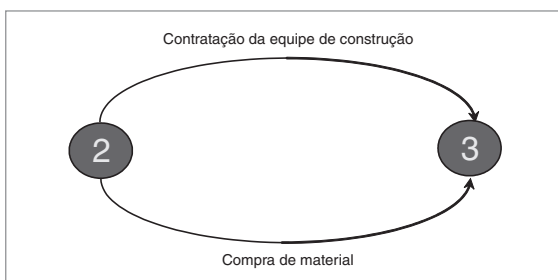
<sup>8</sup> A atividade X pode ocorrer em paralelo às atividades Y e Z.



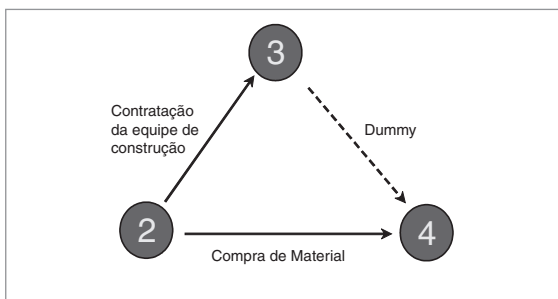
**Figura 8.13.** Rede de um projeto simples: representação americana (atividades nos nós).



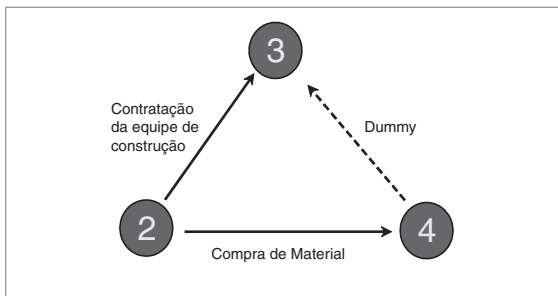
**Figura 8.14.** Rede de um projeto simples: representação francesa (atividades nas setas).



**Figura 8.15.** Atividades concorrentes: representação incorreta.



**Figura 8.16a.** Rede com atividade *dummy*. (atividade 3-4).



**Figura 8.16b.** Rede com atividade *dummy*. (atividade 4-3).

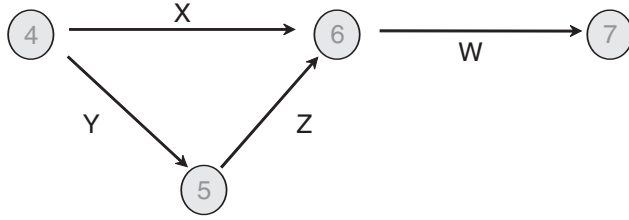


Figura 8.17. Rede com atividades em paralelo e não-concorrentes.

**Exemplo:** A Tabela 8.16 apresenta uma lista de atividades elaborada para a construção de uma casa. Observe que essa relação é apenas um exemplo e não deve ser adotada como um padrão para empreendimentos dessa natureza. Pois, por definição, cada empreendimento é único e deve ter a sua própria lista de atividades e, conseqüentemente, sua própria rede.

Observe que a Tabela 8.16 inclui a classificação de atividades em predecessoras e sucessoras. Atividades predecessoras são aquelas que precedem (ou são pré-requisito) ao desenvolvimento de uma outra atividade. Atividades sucessoras são aquelas que sucedem o desenvolvimento de uma outra atividade.

Tabela 8.16. Atividades para construção de uma casa: relações de precedência

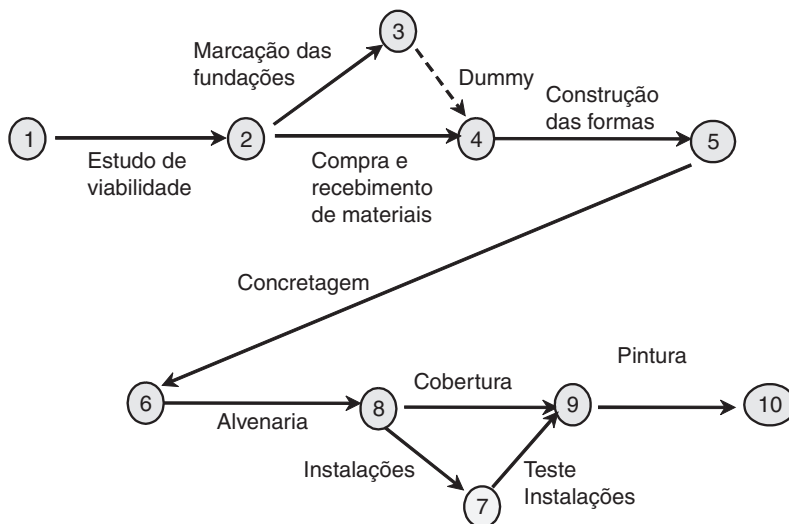
ATIVIDADE	CÓDIGO	PREDECESSORES	SUCESSORES
Estudo de viabilidade			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marcação das fundações</li> <li>• Compra e recebimento de materiais</li> </ul>
Marcação das fundações		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudo de viabilidade</li> </ul>	
Compra e recebimento de materiais		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudo de viabilidade</li> </ul>	
Construção das formas		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marcação das fundações</li> <li>• Compra e recebimento de materiais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concretagem</li> </ul>
Concretagem		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construção das formas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alvenaria</li> </ul>
Alvenaria		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concretagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalações</li> <li>• Cobertura</li> </ul>
Instalações		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alvenaria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teste de Instalações</li> </ul>
Cobertura		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alvenaria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pintura</li> </ul>
Teste de instalações		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalações</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pintura</li> </ul>
Pintura		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teste de instalações</li> <li>• Cobertura</li> </ul>	

A Figura 8.18 apresenta a rede que foi elaborada a partir dos dados constantes da Tabela 8.16.

### 8.3.3 Caminho crítico – CPM

Um caminho é uma seqüência de atividades conectadas na rede, percorrendo desde o nó de início até o nó de término do projeto. A título de exemplo, são apresentados a seguir os caminhos identificados para as redes ilustradas nas Figuras 8.17 e 8.18.

- Caminhos para a rede da Figura 8.17:
  - 4; 6; 7 ou 4-6; 6-7.
  - 4; 5; 6; 7 ou 4-5; 5-6; 6-7.



**Figura 8.18.** Exemplo de rede para construção de uma casa.

• Caminhos para a rede da Figura 8.18:

- 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10.
- 1; 2; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10.
- 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 9; 10.
- 1; 2; 4; 5; 6; 7; 9; 10.

É importante destacar que, no contexto do gerenciamento de projetos, todos os caminhos precisam ser percorridos, ou seja, todas as atividades precisam ser executadas. Ressalta-se que, como **todos** os caminhos precisam ser percorridos, não faz sentido falar em “escolha do caminho crítico”, mas sim, em “**identificação do caminho crítico**”.

No planejamento de projetos, o **caminho crítico** é o caminho que tem o maior tempo de duração. Portanto, para essa identificação é necessário estabelecer o tempo de duração de cada atividade. Esses tempos podem ser determinísticos ou estimados (como será visto na seção que trata do PERT).

Especificamente, o Método do Caminho Crítico (CPM: *Critical Path Method*) foi desenvolvido na década de 1950 por DuPont & Remington-Rand (1956). O CPM considera tempos determinísticos e busca o planejamento de projetos através da identificação do **caminho crítico** da rede.

**Exemplo:** A Tabela 8.17 apresenta os tempos associados (de forma determinística) às atividades descritas na Tabela 8.16, referentes ao projeto de construção de uma casa.

**Tabela 8.17.** Associação de tempos de duração às atividades de construção de uma casa

ATIVIDADE	TEMPO DE DURAÇÃO (T, EM SEMANAS)
Estudo de viabilidade	8
Marcação das fundações	3
Compra e recebimento de materiais	5
Construção das formas	4
Concretagem	2
Alvenaria	4
Instalações	4
Cobertura	3

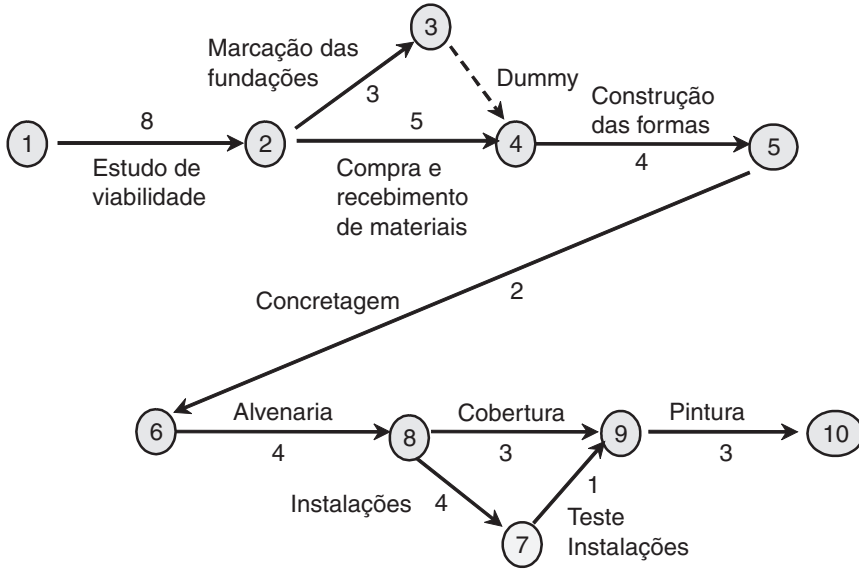


Figura 8.19. Inclusão dos tempos de duração de cada atividade na rede para construção de uma casa.

Teste de instalações	1
Pintura	3

A Figura 8.19 apresenta uma nova representação da rede ilustrada na Figura 8.18. Essa nova representação indica os tempos consumidos em cada uma das atividades – reportados na Tabela 8.18.

A Tabela 8.18 apresenta os tempos de duração associados a cada um dos caminhos possíveis na rede ilustrada pela Figura 8.19. Qual é o caminho crítico para essa rede?

Tabela 8.18. Tempos de duração de cada um dos caminhos

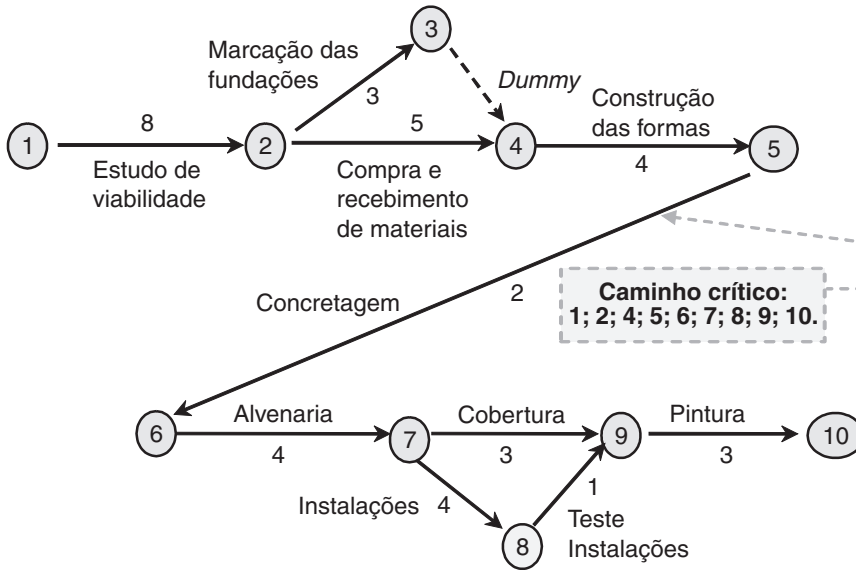
CAMINHO	CÓDIGO	TEMPO DE DURAÇÃO
1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10.	C1	$T = 8 + 3 + 4 + 2 + 4 + 4 + 1 + 3 = 29$ semanas
1; 2; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10.	C2	$T = 8 + 5 + 4 + 2 + 4 + 4 + 1 + 3 = 31$ semanas
1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 9; 10.	C3	$T = 8 + 3 + 4 + 2 + 4 + 3 + 3 = 27$ semanas
1; 2; 4; 5; 6; 7; 9; 10.	C4	$T = 8 + 5 + 4 + 2 + 4 + 3 + 3 = 29$ semanas

O caminho crítico é aquele de maior duração, ou seja, o caminho C2. (Ver destaques apresentados na Tabela 8.19 e na Figura 8.20.)

Tabela 8.19. Tempos de duração de cada um dos caminhos: destaque para o caminho crítico

CAMINHO	CÓDIGO	TEMPO DE DURAÇÃO
1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10.	C1	$T = 8 + 3 + 4 + 2 + 4 + 4 + 1 + 3 = 29$ semanas
1; 2; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10.	C2	$T = 8 + 5 + 4 + 2 + 4 + 4 + 1 + 3 = 31$ semanas
1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 9; 10.	C3	$T = 8 + 3 + 4 + 2 + 4 + 3 + 3 = 27$ semanas
1; 2; 4; 5; 6; 7; 9; 10.	C4	$T = 8 + 5 + 4 + 2 + 4 + 3 + 3 = 29$ semanas

O tempo de conclusão do projeto (T) é igual à soma dos tempos de todas as atividades que compõem o caminho crítico. Portanto, para o exemplo ilustrado na Figura 8.20, o tempo de conclusão do projeto é de 31 semanas.



**Figura 8.20.** Destaque para o caminho crítico na rede para construção de uma casa.

O caminho crítico também é identificado como o caminho que tem “folga zero”. Ou seja: qualquer atraso em qualquer atividade que compoinha o caminho crítico implica atraso global do projeto. Por isso, esse caminho é denotado por caminho **crítico** e deve ser monitorado/controlado com mais atenção.

### 8.3.4 Datas mais cedo, datas mais tarde e folgas

No planejamento de projetos é fundamental a definição das datas mais cedo e mais tarde para a execução das atividades, pois esses parâmetros são utilizados como pontos de controle ou metas intermediárias durante o acompanhamento e controle do projeto. Nesta seção são apresentados os mecanismos para cálculo desses parâmetros.

Cálculo das “Datas mais cedo”

Sejam:

- $t_i$  o tempo de duração de uma atividade  $i$  qualquer do projeto;
- $ES_i$  (*Earliest date to start*), data mais cedo prevista para o início de uma atividade  $i$  do projeto;
- $EF_i$  (*Earliest date to finish*), a data mais cedo prevista para conclusão de uma atividade  $i$  do projeto.

A data mais cedo para se terminar a atividade  $i$  é igual à data mais cedo para início dessa atividade acrescido do tempo de duração da mesma ( $t_i$ ).

$$EF_i = ES_i + t_i \quad (1)$$

Observe também que o tempo mais cedo previsto para o início de uma atividade é igual ao **maior** tempo mais cedo previsto para o término de **todas** as atividades que a precedem (ou o máximo entre esses tempos). Ou seja:

$$ES_i = \max (EF_j) \quad (2)$$

**Exemplo:** A seguir apresenta-se um exemplo que busca ilustrar o cálculo das datas mais cedo de início e término das atividades da rede apresentada na Figura 8.21.

Para o cálculo das datas mais cedo, adota-se um procedimento para a frente (*forward procedure*), ou seja, calculam-se essas datas a partir do início do projeto. Veja:

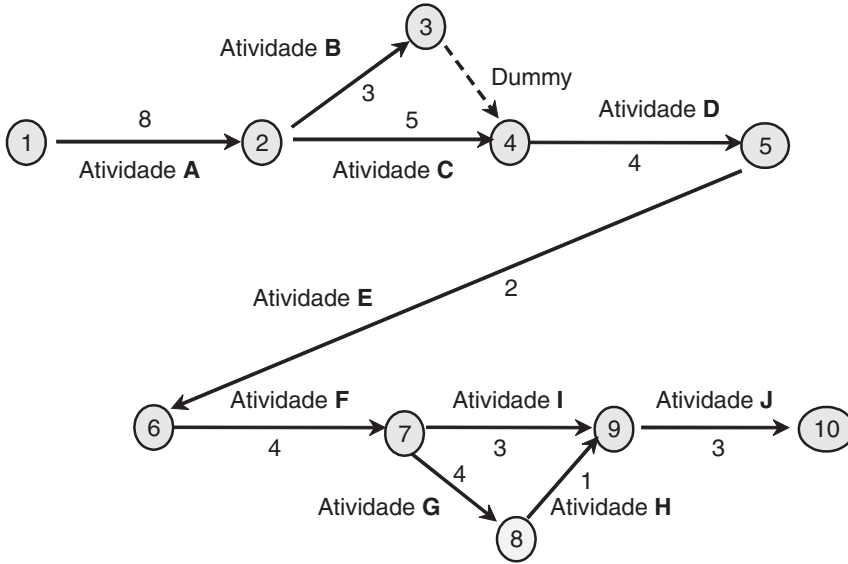


Figura 8.21. Rede utilizada no exemplo para o cálculo das datas mais cedo, mais tarde e folgas.

**Atividade A:**

$ES_A = 0$	Data mais cedo em que se consegue iniciar a atividade A. É considerada como 0 (zero), visto que esta é a atividade que inicia o projeto.
$EF_A = ES_A + t_A = 8 + 3 = 8$ semanas	Data mais tarde na qual a atividade A pode ser concluída sem comprometer o tempo total (T) previsto para a conclusão do projeto.

**Atividade B:**

$ES_B = 8$	Data mais cedo em que se consegue iniciar a atividade B. Essa data é igual à data mais cedo de término da atividade A (antecessora de B).
$EF_B = ES_B + t_B = 8 + 3 = 11$	Data mais tarde na qual a atividade B pode ser concluída sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade C:**

$ES_C = 8$	Data mais cedo em que se consegue iniciar a atividade C. Essa data é igual à data mais cedo de término da atividade A (antecessora de C).
$EF_C = ES_C + t_C = 8 + 5 = 13$	Data mais tarde na qual a atividade C pode ser concluída sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade D:**

$ES_D = \max(11, 13) = 13$	Data mais cedo em que se consegue iniciar a atividade D. Essa data é igual ao maior valor dentre as EFs das atividades que antecedem diretamente a atividade D (nos caso, as atividades B e C).
$EF_D = ES_D + t_D = 13 + 4 = 17$	Data mais tarde na qual a atividade D pode ser finalizada sem comprometer o tempo total (T).



**Atividade E:**

$ES_E = 17$	Data mais cedo em que se consegue iniciar a atividade E. Essa data é igual à data mais cedo de término da atividade A (antecessora de B).
$EF_E = ES_E + t_E = 17 + 2 = 19$	Data mais tarde na qual a atividade E pode ser finalizada sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade F:**

$ES_F = 19$	Data mais cedo em que se consegue iniciar a atividade F. Essa data é igual à data mais cedo de término da atividade E (antecessora de F).
$EF_F = ES_F + t_F = 19 + 4 = 23$	Data mais tarde na qual a atividade F pode ser finalizada sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade G:**

$ES_G = 23$	Data mais cedo em que se consegue iniciar a atividade G. Essa data é igual à data mais cedo de término da atividade F (antecessora de G).
$EF_G = ES_G + t_G = 23 + 4 = 27$	Data mais tarde na qual a atividade G pode ser finalizada sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade H:**

$ES_H = 27$	Data mais cedo em que se consegue iniciar a atividade H. Essa data é igual à data mais cedo de término da atividade G (antecessora de H).
$EF_H = ES_H + t_H = 27 + 1 = 28$	Data mais tarde na qual a atividade H pode ser finalizada sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade I:**

$ES_I = 23$	Data mais cedo em que se consegue iniciar a atividade I. Essa data é igual à data mais cedo de término da atividade F (antecessora de I).
$EF_I = ES_I + t_I = 23 + 3 = 26$	Data mais tarde na qual a atividade I pode ser finalizada sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade J:**

$ES_J = \max(ES_H, ES_I) = \max(28, 26) = 28$	Data mais cedo em que se consegue iniciar a atividade J. Essa data é igual ao maior valor dentre as EFs das atividades que antecedem diretamente a atividade J (no caso as atividades H e I).
$EF_J = ES_J + t_J = 28 + 3 = 31$	Data mais tarde na qual a atividade D pode ser finalizada sem comprometer o tempo total (T). Observe que, como esta é a última atividade de projeto, esse valor também é a data mais cedo para término do projeto: $T = 31$ semanas.

**Cálculo das "Datas mais tarde"**

Sejam:

- $t_i$  o tempo de duração de uma atividade  $i$  qualquer do projeto;
- $LS_i$  (*Earliest date to start*) a data mais tarde prevista para o início de uma atividade  $i$  do projeto;
- $LF_i$  (*Earliest date to finish*) a data mais tarde prevista para conclusão de uma atividade  $i$  do projeto.

Então, a data mais tarde para se iniciar uma atividade genérica  $i$  é igual à data mais tarde para conclusão dessa atividade subtraída do tempo de duração da mesma ( $t_i$ ).

$$LS_i = LF_i - t_i \tag{3}$$

Observe também que o tempo mais cedo previsto para o início de uma atividade é igual ao menor tempo mais tarde previsto para o início de todas as atividades que a sucedem (ou o mínimo desses tempos). Ou seja:

$$LF_i = \min (LS_j) \tag{4}$$

**Exemplo:** A seguir apresenta-se o cálculo das datas mais tarde para a rede descrita na Figura 8.21. Observe que, para o cálculo das datas mais tarde, adota-se um procedimento para trás (*backward procedure*). Ou seja, calculam-se essas datas a partir do final do projeto. Conforme descrito a seguir:

**Atividade J:**

$LF_J = 31$	O tempo total T para conclusão do projeto é 31 semanas. Logo, a data mais tarde em que a última atividade do projeto (atividade J) pode ser concluída é a 31ª semana.
$LS_J = LF_J + t_J = 31 - 3 = 28$ semanas	Data mais tarde na qual a atividade A pode ser iniciada sem comprometer o tempo total (T) previsto para a conclusão do projeto. Observe que se a atividade J deve ser concluída até a 31ª semana, e essa atividade consome três semanas, então, essa atividade J deve iniciar, no mais tardar, na 28ª semana.

**Atividade I:**

$LF_I = 28$	Data mais tarde em que a atividade I pode ser concluída, para que não haja atraso no projeto. Essa data é igual à data mais tarde para o início da atividade J (sucessora de I).
$LS_I = LF_I + t_I = 28 - 3 = 25$	Data mais tarde na qual a atividade I pode ser iniciada sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade H:**

$LF_H = 28$	Data mais tarde em que a atividade H pode ser concluída, para que não haja atraso no projeto. Essa data é igual à data mais tarde para o início da atividade J (sucessora de H).
$LS_H = LF_H + t_H = 28 - 1 = 27$	Data mais tarde na qual a atividade H pode ser iniciada sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade G:**

$LF_G = 27$	Data mais tarde em que a atividade G pode ser concluída. Essa data é igual à data mais tarde para o início da atividade H (sucessora de G).
$LS_G = LF_G + t_G = 27 - 4 = 23$	Data mais tarde na qual a atividade G pode ser iniciada sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade F:**

$LF_F = \min (LS_G, LS_I) = \min (23, 27) = 23$	Data mais tarde em que a atividade F deve ser concluída. Essa data é igual ao menor valor dentre as LSs das atividades que sucedem diretamente a atividade F (no caso, as atividades G e I).
$LS_F = LF_F - t_F = 23 - 4 = 19$	Data mais tarde na qual a atividade F pode ser iniciada, sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade E:**

$LF_E = 19$	Data mais tarde em que a atividade E pode ser concluída. Essa data é igual à data mais tarde para o início da atividade F (sucessora de E).
$LS_E = LF_E - t_E = 19 - 2 = 17$	Data mais tarde na qual a atividade E pode ser iniciada sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade D:**

$LF_D = 17$	Data mais tarde em que a atividade D pode ser concluída. Essa data é igual à data mais tarde para o início da atividade E (sucessora de D).
$LS_D = LF_D - t_D = 17 - 4 = 13$	Data mais tarde na qual a atividade D pode ser iniciada sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade C:**

$LF_C = 13$	Data mais tarde em que a atividade C pode ser concluída. Essa data é igual à data mais tarde para o início da atividade D (sucessora de C).
$LS_C = LF_C - t_C = 15 - 5 = 8$	Data mais tarde na qual a atividade C pode ser iniciada sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade B:**

$LF_B = 15$	Data mais tarde em que a atividade B pode ser concluída. Essa data é igual à data mais tarde para o início da atividade D (sucessora de B).
$LS_B = LF_B - t_B = 13 - 3 = 10$	Data mais tarde na qual a atividade B pode ser iniciada sem comprometer o tempo total (T).

**Atividade A:**

$LF_A = \min(LS_B, LS_C) = \min(10, 8) = 8$	Data mais tarde em que a atividade A deve ser concluída. Essa data é igual ao menor valor dentre as LSs das atividades que sucedem diretamente a atividade A (no caso, as atividades B e C).
$LS_A = LF_A - t_A = 8 - 8 = 0$	Data mais tarde na qual a atividade A pode ser iniciada, sem comprometer o tempo total (T).

**Cálculo das “Folgas”**

Algumas atividades de um projeto podem ter folga (S).<sup>9</sup> Existem duas formas de se computar o valor da folga de uma atividade genérica  $i$ . Pode-se computar a folga como a diferença de tempo entre:

- a data mais tarde para término de uma atividade e a data mais cedo para conclusão da mesma:

$$S_i = LF_i - EF_i$$

- a data mais tarde para início de uma atividade e data mais cedo para início da mesma:

$$S_i = LS_i - ES_i$$

A Tabela 8.20 apresenta as listas das atividades que compõem a rede do projeto ilustrado na Figura 8.21, juntamente com as datas mais cedo, mais tarde e as folgas. Observe que as atividades B e I apresentam folgas. Todas as demais apresentam folga nula (ou seja, fazem parte do caminho crítico).

<sup>9</sup> *Slack* na língua inglesa.

**Tabela 8.20.** Tempos de duração, folgas, datas mais cedo e mais tarde

TEMPO		DATAS MAIS CEDO		DATAS MAIS TARDE		FOLGAS
ATIVIDADES (SEMANAS)		INÍCIO	TÉRMINO	INÍCIO	TÉRMINO	
A	8	0	8	0	8	0
B	3	8	11	10	13	2
C	5	8	13	8	13	0
D	4	13	17	13	17	0
E	2	17	19	17	19	0
F	4	19	23	19	23	0
G	4	23	27	23	27	0
H	1	27	28	27	28	0
I	3	23	26	25	28	2
J	3	28	31	28	31	0

**8.3.5 Tempos não-determinísticos no planejamento do projeto PERT**

Na seção anterior, os tempos de duração de cada atividade foram assumidos como determinísticos. Nem sempre isso é verdade (a maioria das vezes, não é). Nesta seção apresenta-se uma técnica também desenvolvida na década de 1950 para o gerenciamento de projetos, denominada PERT (*Program Evaluation Review Technique*).

No âmbito do PERT, é usual considerar três estimativas: uma mais pessimista (p), uma mais usual (m) e uma mais otimista(o).

A partir dessas estimativas e considerando uma distribuição do tipo β, calcula-se a média e a variância de cada uma das atividades, com base nas seguintes equações:

$$t = \left( \frac{o + 4m + p}{6} \right) \tag{6}$$

$$S = \sigma^2 = \left( \frac{o - p}{6} \right)^2 \tag{7}$$

onde:

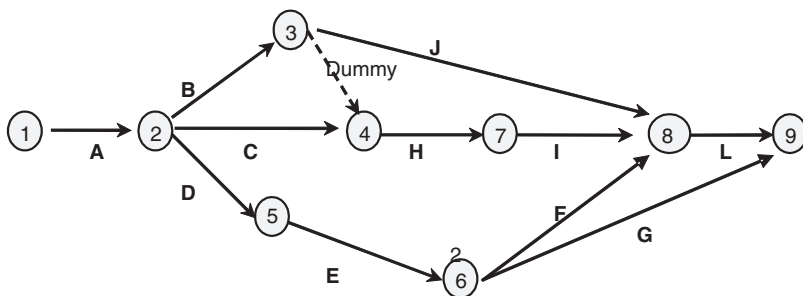
- t = tempo médio previsto para a duração da atividade
- s = variância
- o = estimativa otimista para duração da atividade
- p = estimativa pessimista para duração da atividade
- m = estimativa “usual” para duração da atividade

**Exemplo:** Considere a atividade de substituição de uma tubulação industrial ao ar livre.

- Em uma estimativa otimista, pode-se considerar que esta atividade leve cinco dias para ser concluída, caso todos os fatores conspiram positivamente e não ocorra nenhum dos problemas previstos ou estimados.
- Em uma estimativa “usual” ou moderada, estima-se que esta atividade leve oito dias, ocorrendo problemas já previstos ou estimados, e sem que haja nenhuma “surpresa” negativa ou “murphy”.
- Em uma estimativa pessimista, estima-se que esta atividade leve 20 dias, ocorrendo problemas não previstos ou estimados, ou seja, uma superposição de “azares”.

Aplicando as Equações (6) e (7) aos dados deste exemplo, tem-se:

$$t = \left( \frac{o + 4m + p}{6} \right) = \left( \frac{5 + 8 + 20}{6} \right) = \frac{33}{6} = 5,5 \quad \text{Tempo médio calculado para a conclusão da atividade.}$$



**Figura 8.22.** Rede utilizada para apresentar o PERT.

Por questões didáticas, a partir deste ponto do texto, será utilizada a rede ilustrada na Figura 8.22 para apresentar a aplicação da técnica PERT.

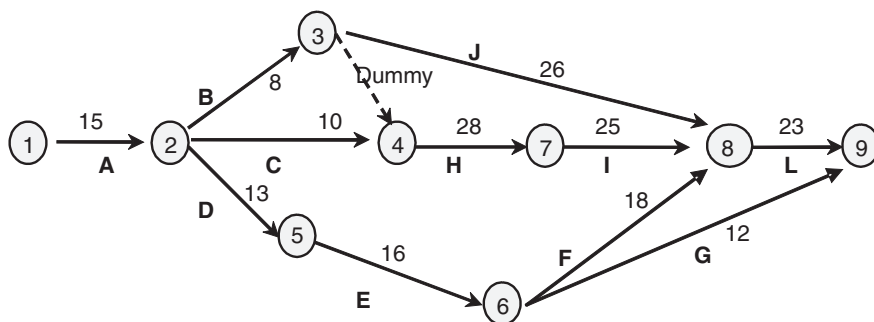
Considere que para cada uma das atividades ilustradas na Figura 8.22 foram apresentadas as estimativas pessimista, otimista e moderada para a duração das mesmas. A Tabela 8.21 apresenta essas estimativas, juntamente com os valores calculados para o tempo médio e para a variância dessas atividades. Esses valores foram calculados com o apoio das Equações 5 e 6.

**Tabela 8.21.** Estimativas de tempo, tempos médios e variâncias

ATIVIDADES	ESTIMATIVAS DE DURAÇÃO (SEMANAS)			T	VARIÂNCIA
	OTIMISTA	PESSIMISTA	MODERADA		
A	10	15	20	15,00	5,00
B	8	8	8	8,00	2,67
C	8	10	12	10,00	3,33
D	5	13	21	13,00	4,33
E	10	15	26	16,00	6,00
F	15	18	21	18,00	6,00
G	10	12	14	12,00	4,00
H	25	27	35	28,00	10,00
I	20	25	30	25,00	8,33
J	12	28	32	26,00	7,33
L	20	22	30	23,00	8,33

A Figura 8.23 apresenta a rede PERT do projeto, que inclui os tempos médios para cada tarefa.

A esta altura, o leitor pode estar se fazendo a seguinte indagação: *posso aplicar os conceitos de CPM à rede PERT?*



**Figura 8.23.** Rede PERT, incluindo os tempos médios das atividades do projeto.

A resposta é SIM! Podem ser combinados os conceitos de CPM (caminho crítico, folgas e datas mais cedo e mais tarde) integrados ao PERT.<sup>10</sup> Aplicando essa integração ao exemplo apresentado na Figura 8.23, o **caminho crítico** seria composto pelas seguintes atividades: **A; C; H; I; e, L.** Deixa-se para o leitor o desafio de encontrar as folgas e as datas mais cedo e mais tarde para a rede ilustrada na Figura 8.23.

A Figura 8.24 destaca o caminho crítico do projeto. Observe que o tempo total estimado para conclusão do projeto (T) é de 101 semanas.

Os tempos considerados para a determinação do caminho crítico são valores médios obtidos a partir de estimativas. Portanto, deve haver algum valor de probabilidade associado à conclusão do projeto. Pergunta-se ao leitor: qual a probabilidade de este projeto ser concluído em até 101 semanas?

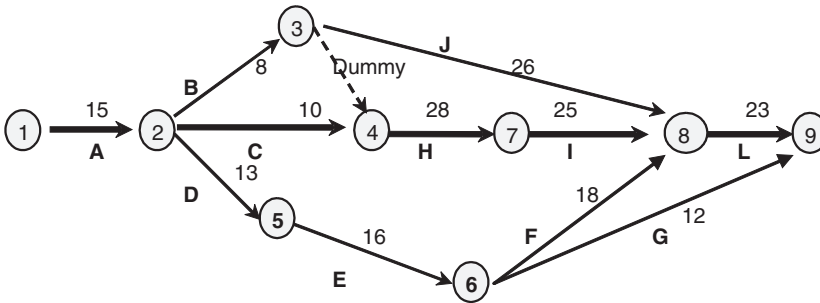


Figura 8.24. Rede PERT com destaque para o caminho crítico.

A resposta a essa pergunta é: 50%. Ou seja: existe cinquenta por cento de probabilidade de o projeto ser concluído em até 101 semanas. A seguir será apresentada uma discussão a respeito das probabilidades associadas às estimativas de tempo de conclusão do projeto.

Análise de probabilidade de redes PERT

A análise de probabilidades no contexto do PERT/CPM objetiva responder a duas questões:

1. Determinar a probabilidade de o projeto ser completado em um determinado prazo.
2. Determinar o prazo para que haja uma determinada probabilidade de o projeto ser concluído.

Para se responder a essas questões faz-se uso da curva normal<sup>11</sup> (ver Figura 8.24) e da seguinte equação:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \tag{8}$$

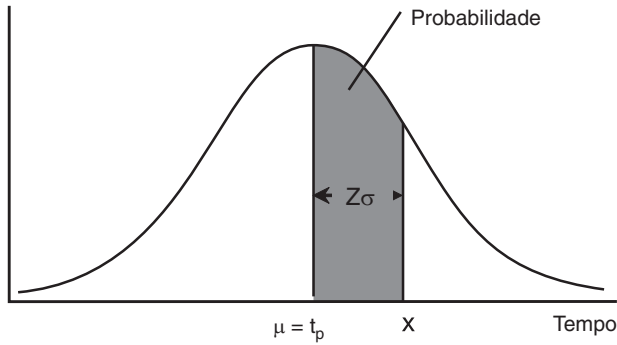
Onde:

- $\mu = T$  = tempo médio esperado para a conclusão do projeto
- $\sigma$  = desvio-padrão do projeto
- $x$  = prazo *proposto* para o término do projeto
- $Z$  = número de desvios-padrão que afastam  $x$  da média  $\mu$ .

O apêndice 4 apresenta uma tabela com as áreas sob a curva normal padronizada. Desta forma pode-se encontrar os valores das probabilidades (áreas sob a curva normal) como função do parâmetro  $z$ .

<sup>10</sup> Essa integração é usualmente denotada pela sigla PERT/COM.

<sup>11</sup> É importante registrar que, apesar de adotar uma distribuição  $\beta$  para a distribuição do tempo de duração de cada atividade, considera-se uma distribuição normal para o tempo de conclusão do projeto.



**Figura 8.25.** Distribuição normal de probabilidade.

O desvio-padrão do projeto é calculado como a raiz quadrada da soma das variâncias das atividades que fazem parte do caminho crítico, ou seja:

$$\sigma = \sqrt{\sum S_i}$$

Onde  $S_i$  é a variância da atividade  $i$ , que compõe o caminho crítico.

**Exemplos:** Qual é a probabilidade associada à conclusão do projeto em até:

- 110 semanas.
- 105 semanas
- 98 semanas.
- 101 semanas.

Para a rede ilustrada na Figura 8.24, temos:

$$\sigma = \sqrt{S_A + S_C + S_H + S_L} = \sqrt{2,78 + 0,44 + 2,78 + 2,78 + 2,78} = 3,399$$

e

$$T = \mu = 101 \text{ semanas}$$

De posse desses valores, podemos resolver os exemplos da página anterior.

a) Para  $x = 110$  semanas temos

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{110 - 101}{3,399} = 2,65$$

Entrando com esse valor em uma tabela de distribuição normal, obtém-se  $p=0,9960$ . Ou seja: 99,60% é a probabilidade de se concluir o projeto em até 110 semanas (ver Figura 8.26).

b) Para  $x = 105$  semanas, temos:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{105 - 101}{3,399} = 1,18$$

Entrando com esse valor em uma tabela de distribuição normal, obtém-se  $p=0,8810$ . Ou seja: 88,10% é a probabilidade de se concluir o projeto em até 105 semanas (ver Figura 8.27).

c) Para  $x = 98$  semanas, temos:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{98 - 101}{3,399} = -0,88$$

Z	0,00	0,01	...	0,05
⋮	⋮	⋮		
2,6	0,4953	0,4955	...	0,4960

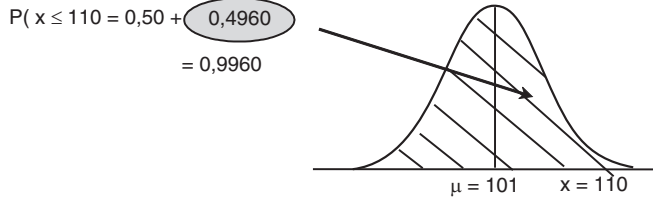


Figura 8.26. Probabilidade associada ao segundo exemplo.

Z	0,00	0,01	...	0,08
⋮	⋮	⋮		
1,1	0,3643	0,3665	...	0,3810

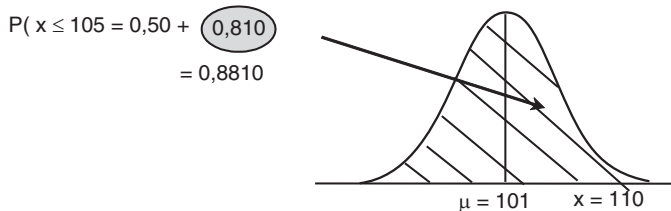


Figura 8.27. Probabilidade associada ao segundo exemplo b.

Entrando com esse valor em uma tabela de distribuição normal, obtém-se  $p=0,1894$ . Ou seja: apenas 31,06% é a probabilidade de se concluir o projeto em até 98 semanas. (ver Figura 8.28).

d) para  $x = 101$  semanas, temos:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{101 - 101}{3,399} = 0$$

Entrando com esse valor em uma tabela de distribuição normal, obtém-se  $p=0,500$ . Ou seja: 50,00% é a probabilidade de se concluir o projeto em até 98 semanas.

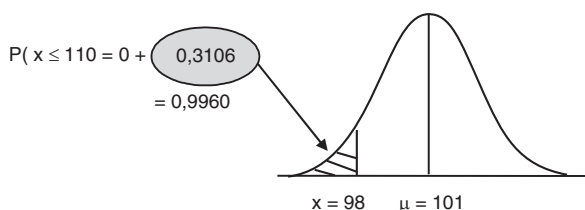
A segunda questão levantada neste tópico ainda persiste: **como determinar o prazo para que haja uma determinada probabilidade de o projeto ser concluído?** O grupo de exemplos apresentado a seguir indica como responder a essa questão.

**Exemplos:** Quais são os prazos de conclusão do projeto associados às seguintes probabilidades?

- a) 75%.
- b) 90%
- c) 40%.



Z	0,00	0,01	...	0,08
...	...	...	...	...
0,8	0,2881	0,2910 ...	...	0,3106



**Figura 8.28.** Probabilidade associada ao terceiro exemplo c.

a) Se consultarmos a tabela normal, para  $p = 80\%$ , temos  $z = 0,84$ . Entrando com esse valor na Equação (8) obtemos:

$$x = z \cdot \sigma + \mu = 0,845 \cdot 0,3399 + 101 = 103,9 \approx \text{semanas}$$

b) Se consultarmos a tabela normal, para  $p = 95,0\%$ , temos  $z = 1,645$ . Entrando com esse valor na Equação (8) obtemos:

$$x = z \cdot \sigma + \mu = 1,645 \cdot 0,3399 + 101 = 106,6 \approx 107 \text{ semanas}$$

c) Se consultarmos a tabela normal, para  $p = 33,0\%$ , temos  $z = 0,440$ . Entrando com esse valor na Equação (8) obtemos:

$$x = z \cdot \sigma + \mu = 0,440 \cdot 0,3399 + 101 = 102,5 \text{ semanas}$$

## 8.4 REVISÃO DOS CONCEITOS

Neste capítulo, buscou-se apresentar os fundamentos de: programação de operações (*Scheduling*), seqüenciamento, programação em projetos (foco em PERT/CPM), balanceamento de linhas e APS (*Advanced Planning and Scheduling*).

Discutiram-se problemas de escalamento de pessoal e programação de turnos; heurísticas e exemplos; uso de programação linear e exemplos; considerações comportamentais e gerenciais.

Foram explicadas as características dos sistemas aplicados a PCP, focando a programação da produção.

### PALAVRAS-CHAVE

PCP

Programação de operações

Scheduling

Seqüenciamento

PCP

Gerenciamento de projetos

PERT/COM

Apressamento<sup>12</sup> (*expediting*)

Designação (*assignment*)

Seqüenciamento (*sequencing*)

Despacho (*dispatching*)

Controle (*control*)

Carregamento de oficinas (*shop loading*)

## 8.5 EXERCÍCIOS

1. Explique a relação entre planejamento das necessidades de materiais e as decisões ligadas à programação. Qual a origem, no MRP, das informações para que se possam tomar decisões relativas à programação na manufatura?
2. Cite dois problemas de programação da produção em ambientes *job shop*.
3. Explique como um gestor de produção escolheria e utilizaria uma regra de seqüenciamento.
4. Qual é o objetivo da regra de Johnson? Em quais condições é utilizada?
5. Explique o que os fabricantes de classe mundial estão fazendo em suas programações de produção.
6. Visite o Web site de empresas que desenvolvem softwares aplicados em Programação da Produção. Descreva os recursos de um software dedicado à Programação da Produção.
7. Visite uma livraria on-line e localize três livros recentes sobre programação na manufatura. Forneça as citações bibliográficas completas.
8. Procure na Internet um fornecedor de software de controle de chão de fábrica. Descreva os recursos desse software e forneça o site da empresa.
9. No âmbito do PERT/CPM, qual é o valor da soma das folgas das atividades que compõem o caminho crítico?
10. Uma empresa elaborou um estudo das atividades a serem desenvolvidas em um determinado projeto. A partir desse estudo, a empresa elaborou a tabela apresentada a seguir, com dados referentes às relações de precedência e aos tempos de duração de cada atividade. Com base nos dados dessa tabela:
  - 10.1. Elabore a rede do projeto.
  - 10.2. Calcule os tempos médios para a conclusão de cada atividade.
  - 10.3. Identifique o caminho crítico.
  - 10.4. Determine o tempo total de conclusão do projeto.
  - 10.5. Calcule a variância do projeto.
  - 10.6. Determine a probabilidade de o projeto ser concluído em um prazo:
    - Menor ou igual ao prazo identificado no item c.
    - Maior ou igual ao prazo identificado no item c.
    - Inferior ou igual a 28 semanas.
    - Superior a 28 semanas.
    - Inferior ou igual a 22 semanas.
    - Superior a 22 semanas.

**Tabela. Dados do Exercício 10**

ATIVIDADE	PRECEDENTE	ESTIMATIVAS DE DURAÇÃO DAS ATIVIDADES DO PROJETO (EM SEMANAS)		
		OTIMISTA	MODERADA	PESSIMISTA
1-2	–	6	8	10
1-3	–	3	6	9
1-4	–	1	3	5
2-6	1-2	2	4	12
3-5	1-3	2	3	4
4-5	1-4	3	4	5
4-8	1-4	2	2	2
5-7	3-5; 4-5	3	7	11
5-8	3-5; 4-5	2	4	6
6-9	2-6	1	4	7
7-9	5-7	4	8	10
8-9	5-8; 4-8	1	2	3

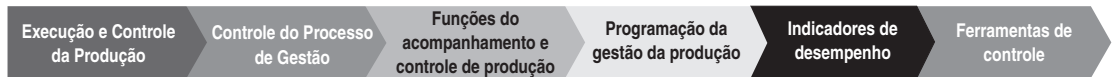
<sup>12</sup> Não confundir com “apreçamento” que significa “dar preço” ou com “expedição” que é o ato de expedir.

# Sistemas de controle da produção

HELDER GOMES COSTA • OSVALDO L.G. QUELHAS • ROGÉRIO ATEM DE CARVALHO  
RUBEN H. GUTIERREZ • VICTOR GOMES SIMÃO

## ■ OBJETIVOS DE APRENDIZADO

O principal objetivo deste capítulo é trazer ao leitor uma visão da aplicação dos conceitos associados às atividades de acompanhamento e controle na execução da produção, conforme pode ser visualizado na Figura 9.1, buscando enfatizar as principais funções do PCP dentro desse processo. São estudadas ferramentas como medidas de desempenho do processo, restrições de capacidade produtiva, o controle de estoques sob a ótica do *just-in-time*, o controle de produção segundo o sistema *kanban*, o controle de produção através do *Optimized Production Technology*, indicadores de desempenho e o controle utilizado em projetos e empreendimentos de engenharia.



**Figura 9.1.** Estrutura deste capítulo: encadeamento de conceitos sobre Controle da Produção.

## 9.1 INTRODUÇÃO

A Figura 9.1 ilustra um “modelo mental” do encadeamento de conceitos deste capítulo. A atuação de PCP no “chão de fábrica”, tomando essa expressão para manufatura ou para serviços, é expressa neste capítulo apresentando os conceitos fundamentais para o entendimento da atuação da gestão da produção através das funções e atividades inerentes ao PCP.

Considerando as teorias administrativas, sabemos que os quatro elementos dos processos de gestão são: planejamento, execução, controle e ação corretiva. Elementos estes conhecidos como os passos do Ciclo PDCA<sup>1</sup>.

Tudo o que se planeja deve ter seus resultados controlados.

O controle do processo de execução deve ser feito no mínimo uma única vez no final da execução para poder saber se os objetivos planejados foram atingidos ou não. No entanto, um sistema de controle deve ser mais proativo; assim, o controle pode ser discreto (apenas em alguns pontos críticos) e/ou contínuo (ao longo de todo o processo). O custo pode ser uma restrição para o controle e/ou monitoramento contínuo.

<sup>1</sup> O ciclo PDCA, também conhecido como Ciclo de Shewhart ou Ciclo de Deming, tem por princípio tornar mais claros e ágeis os processos envolvidos na execução da gestão, dividindo-a em quatro principais passos: *Plan* (planejamento), *Do* (execução), *Check* (verificação) e *Act* (ação).

Atividades de controle proativo em qualquer processo são caracterizadas por acompanhamento e atuação sobre um conjunto de causas ao longo do processo a fim de que os seus efeitos estejam o tempo todo em conformidade com o planejado.

O controle é exercido para manter os resultados planejados ou para melhorá-los. Controlar é gerenciar, monitorar os resultados e buscar as causas (meios) que criam barreiras ao alcance de uma meta, estabelecer indicadores, montar um plano de ação, atuar e padronizar o processo em caso de sucesso. Um método para o controle é o PDCA, que consiste em um ciclo de melhoria contínua. O controle no PDCA requer itens de controle preestabelecidos.

Todo processo é controlado de forma contínua ou discreta e avaliado com o fim de medir o sucesso do plano e/ou também para saber o grau de desvio do plano do objetivo inicial, de tal forma a servir de *feedback* num próximo plano ou fase, seguindo a lógica da “melhoria contínua” ou *Kaizen*, como é conhecido na filosofia JIT.

Um sistema de controle deve ser planejado antecipadamente, porém seu grau de aperfeiçoamento tem como limitação os custos – que não podem ser superiores aos benefícios. Daí a necessidade de serem definidos pontos críticos para o controle, ou seja, pontos de verificação do estado do processo produtivo.

Um processo é controlado através dos seus efeitos. Os itens de controle de um processo devem ser índices numéricos e estabelecidos para mensurar os efeitos de cada processo. A mensuração tem por objetivo acompanhar e comparar os resultados com os planejados do ponto de vista quantitativo e qualitativo.

Inserindo-se nas preocupações contemporâneas com a sustentabilidade, não somente indicadores de processo (proativos) e finais (de resultado), mas também devem incluir medições para controle de quaisquer resultados indesejáveis do processo, tais como emissão de gases causadores do efeito estufa, de eficiência energética e outros indicadores que meçam a sustentabilidade ambiental da produção.

O diagnóstico de resultado indesejável em um processo é sempre um grande inconveniente. Para conduzir um bom gerenciamento, primeiro é preciso aprender a localizar os problemas e então aprender a resolvê-los. Assim, um sistema de controle de processo consiste em três ações fundamentais:

1. Estabelecimento da diretriz de controle
2. Manutenção do nível de controle
3. Melhoria do nível de controle

Controlar um processo significa mantê-lo estável e agir sobre um conjunto de causas que afetam os itens de controle da área a ser gerenciada. Permite também a avaliação sistemática do desempenho de um processo e a tomada das decisões para correções necessárias.

**Dessa forma, entende-se por Controle da Produção a função do PCP responsável por fazer comparações rotineiras entre os resultados da produção de bens e/ou serviços e as solicitações da programação, detectando desvios, assim como identificando causas e cobrando, dos responsáveis, suas correções.**

Descobrir a verdadeira causa de um desvio de produção não é fácil. Ela pode estar diluída entre os diversos setores de uma empresa. A manutenção, o setor de fabricação, a engenharia, o SMS (gestão de saúde, meio ambiente e segurança ocupacional) e o controle de qualidade são áreas que podem estar envolvidas diretamente com esse desvio. É importante então que o pessoal de Controle e Acompanhamento da Produção tenha domínio do processo de fabricação e de seus problemas e que saiba detectar as causas dos desvios no processo.

### 9.1.1 O controle e o processo de gestão

O processo de gestão é formado por quatro funções fundamentais:

1. Planejamento – determina os objetivos e cursos de ação a seguir.

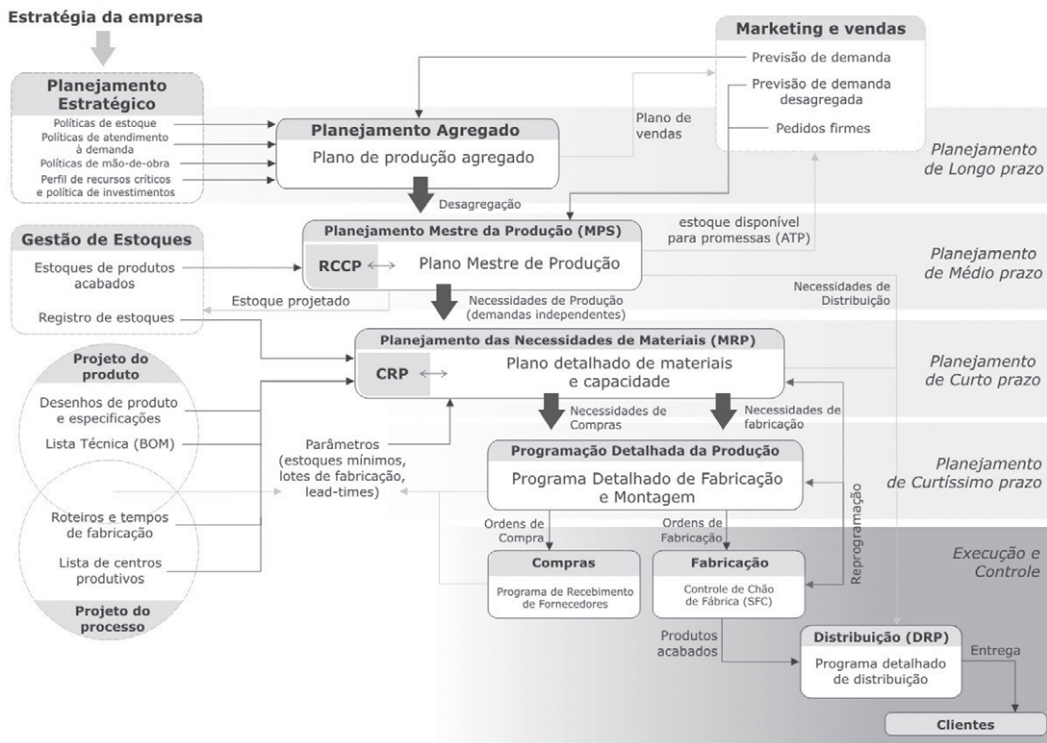


Figura 9.2. Os processos de execução e controle dentro da lógica do PCP.

2. Organização – distribui o trabalho entre os membros do grupo e estabelece e reconhece as relações necessárias.
3. Execução – realiza as tarefas pré-escritas pelos membros do grupo.
4. Controle das atividades e dos resultados planejados.

Os processos devem progredir de forma satisfatória para o objetivo predeterminado. Mesmo com ótimos planos e programas, a execução das atividades organizacionais exige interpretação e execução de orientações que podem ficar duvidosas, nebulosas, discrepantes ou contraditórias em algum momento, o que exigirá do gestor tomar decisões corretivas.

#### Atividades do controle de gestão

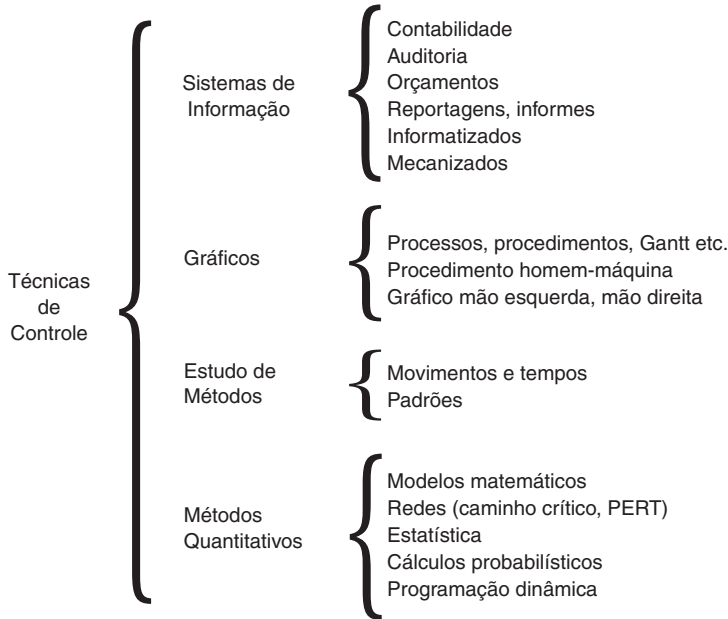
- a. Comparar os resultados com os planos principais.
- b. Coletar e avaliar resultados parciais ou finais contra os padrões de desempenho
- c. Criar os meios efetivos para medir as operações
- d. Comunicar quais são os meios de medição e os parâmetros básicos
- e. Transferir dados detalhados de forma que relevem as comparações e as variações
- f. Sugerir e implantar as ações corretivas quando sejam necessárias
- g. Informar aos membros responsáveis sobre as interpretações
- h. Reajustar o controle de acordo com os resultados aferidos

Na prática, as quatro funções fundamentais da gestão estão intimamente ligadas e interagem dentro de cada organização. O controle exige gerenciar pessoas e processos diversos muitas vezes à distância.

O controle pode ser classificado também em:

- controle preliminar;
- controle corrente;
- controle de realimentação: valoriza e usa a informação dos resultados anteriores para corrigir possíveis desvios futuros de padrões aceitáveis; inclui o ciclo PDCA.

Existem diversas ferramentas utilizadas para executar o controle e medir resultados e indicadores de processos em diversas áreas de uma organização. Recursos como coleta de dados para gerar gráficos, por exemplo, são aplicáveis a atividades operacionais. Ferramentas como auditoria e controladoria são mais adequadas à medição de resultados financeiros. A Figura 9.3 ilustra as aplicações de algumas técnicas de controle.



**Figura 9.3.** Técnicas diversas de controle agrupadas segundo áreas do saber. Todas elas são perfeitamente aplicáveis para auxiliar no controle da gestão empresarial e também dos processos produtivos.

### 9.1.2 Funções do acompanhamento e controle da produção

O planejamento e controle da produção, ao fornecer informações para comandar e controlar o sistema produtivo e proporcionar *feedback* aos seus gestores e executores, torna possível uma criteriosa análise não somente do processo produtivo, mas de toda a empresa, suas metas e objetivos, ao comparar o planejado com o efetivamente realizado.

A função controle da produção cuida de dirigir e/ou regular o fluxo metódico dos materiais por todo o ciclo de fabricação, desde a requisição de matérias-primas, até a entrega do produto terminado, mediante a transmissão sistemática de instruções aos subordinados, segundo o plano que se utiliza nas instalações do modo mais econômico.

Para tanto, a gerência deve supervisionar o desenvolvimento dos trabalhos a realizar, o tempo e a quantidade produzida. Além do mais, deve estar atenta a possíveis mudanças nos planos de acordo com as situações que forem se apresentando.

A gerência também deve dispor de matérias-primas e demais elementos de fabricação no momento oportuno e no lugar requerido. Reduzir sempre que possível os períodos ociosos da maquinaria e dos operários e assegurar que estes não trabalhem em excesso nem fiquem ociosos. Por esse motivo, essas funções são imprescindíveis para qualquer empresa que pretende operar no ambiente competitivo atual.

A seguir apresentamos algumas funções de controle:

- comprovar a demanda real e compará-la com a planejada e corrigir os planos se for necessário;
- estabelecer volumes econômicos dos materiais e peças que devem ser comprados ou fabricados;
- determinar as necessidades de produção e os níveis de estoques em determinados pontos da dimensão do tempo;
- comprovar os níveis de estoques, comparando-os com os que se tem previsto e revisar os planos de produção se for necessário;
- elaborar programas detalhados de produção;
- planejar a distribuição de produtos;
- além dessas funções, devido a requisitos legais e de consenso nas cadeias produtivas, as organizações devem controlar o nível de emissão de resíduos prejudiciais à sustentabilidade do planeta, assim como controlar e avaliar constantemente os indicadores associados à segurança e saúde dos trabalhadores;
- uma empresa, para ser sustentável, necessita atender aos princípios da sustentabilidade: efetividade, eficiência e eficácia econômica, social e ambiental.

A programação da produção dentro da planta e a conservação dos estoques constituem o meio central da produção. O processo de fabricação está constituído pelo fluxo de entrada de materiais que se utilizam no produto e a operação que abarca a transformação da matéria-prima (funcionários, máquinas, tempo, dinheiro, seqüências etc.) em produtos acabados, que constituem o potencial da saída.

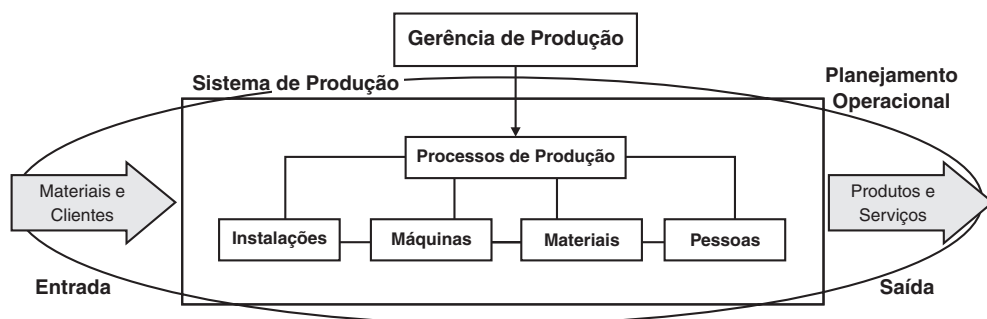


Figura 9.4. Sistema e ambiente do controle e gestão da produção.

## 9.2. CONTROLE E GESTÃO DA PRODUÇÃO

A necessidade de se manter competitiva e o crescimento dos custos da mão-de-obra e dos demais custos de produção complicam continuamente o objetivo econômico da empresa. Para vencer esse desafio, a empresa necessita incrementar continuamente sua produtividade.

Uma das maneiras de incrementar a produtividade é o estabelecimento de um controle continuamente aprimorado das atividades de produção. A monitoração da produção estabelece uma ponte entre o PCP e a produção. Fornece à gestão da produção a informação necessária para controlar efetivamente os recursos e as atividades da produção.

### 9.2.1 Documentação de produção

Este tipo de documentação deve ser padronizado, evitando documentos confusos e fora do padrão para facilitar a leitura e o entendimento da mesma. Um programa de fabricação deve ser fornecido à produção, contendo os desenhos e as instruções de fabricação atualizados para a produção.

A identificação do produto, incluindo código e descrição, o número da ordem de produção e a quantidade a ser produzida devem constar desse documento, a ser utilizado conforme descrito no capítulo sobre monitoração da produção.

Uma pasta de documentos acompanha a ordem de produção, quando de sua liberação, contendo desenhos, instruções de fabricação e documentos para anotação do progresso da ordem. Quando é completado um trabalho, deve ser feita uma anotação ou *input* de computador, ou o documento deve mudar de posição num quadro demonstrativo do progresso da produção. A pasta de documentos deve ser devolvida em conjunto com o material fisicamente processado, bem como um documento para controle do progresso do processamento da ordem deve também ser fornecido, para ser utilizado na fase de monitoração da produção.

Mudanças imprevistas podem ocorrer, de tal modo que alterações tenham de ser feitas na documentação de produção. A incidência deve ser mínima, uma vez que a liberação das ordens de produção é feita no último momento.

Quando se permite que os produtos possam incorporar variações específicas para cada cliente, a ordem de produção deve ser acompanhada pela respectiva especificação, como a do exemplo mostrado a seguir.

### 9.2.2 Mão-de-obra disponível

O controle da Mão-de-Obra Disponível (MOD) se inicia com o “ponto” manual ou eletrônico, que controla os horários de entrada e saída dos funcionários. No início de cada turno, a MOD efetiva tem de ser controlada de acordo com o planejado. Ações são geradas a partir do absenteísmo constatado. O tempo de permanência no trabalho da MOD tem de ser reconciliado como o total dos tempos gastos anotados em cada trabalho. As horas trabalhadas são então registradas e calculadas definitivamente. Esse controle auxilia também para detectar absenteísmos e padrões sistemáticos de falta de mão-de-obra. De outro lado, ajuda a desfazer “panelinhas” e realocar pessoal entre centros de produção, às vezes para balancear lideranças e/ou experiências etc.

### 9.2.3 Requisição interna de materiais

O estoque interno fica dentro ou perto do chão de fábrica, e só deve liberar os estoques físicos mediante requisições, seja no sistema empurrar ou no puxar. Essa requisição é gerada quando da liberação das ordens de produção. A monitoração da produção coordena a entrega de material necessário junto ao estoque, contribuindo para a minimização do estoque em processo, com todas as vantagens decorrentes. Algumas situações são destacadas a seguir.

- Criação/geração do documento de requisição. O mestre de produção ou outra pessoa autorizada pode emitir requisições de materiais diretamente da produção, por exemplo, em caso de excesso de refugo ou de recebimento de material incorreto. Materiais auxiliares e alguns itens de manutenção podem também ser requisitados diretamente.
- Falta de materiais. Quando, excepcionalmente, uma ordem é iniciada faltando materiais a serem utilizados em operações subseqüentes, a liberação das ordens de produção notifica o recebimento ou centro produtor a respeito. Recebidos os materiais faltantes, a monitoração da produção imediatamente notifica a localização precisa para a qual devem ser enviados os materiais.
- Quantidades extras e/ou muito grandes. Quando uma quantidade excessiva é requisitada, em comparação com padrões previamente estabelecidos, pode gerar faltas para outras ordens de produção. A monitoração da produção avisa de imediato ao gestor de estoques.
- Requisição de itens a granel. Certos itens, de valor de consumo baixo, são mantidos em estoque genérico na própria produção (por exemplo: rebites, parafusos etc.). As requisições são geradas diretamente pela produção, através de pessoas autorizadas.

### 9.2.4 Controle das ferramentas

A expedição de ferramentas, calibres e dispositivos é feita de maneira similar à expedição de materiais. O sistema deve prever a necessidade e programar a retirada de ferramentas etc. e sua movi-



mentação na produção. O estoque de ferramentas é notificado previamente conforme a necessidade, assegurando tempo para eventual manutenção final. Paradas na produção devido a atraso na chegada das ferramentas são, dessa maneira, minimizadas.

Procedimentos de controle asseguram a volta das ferramentas para reafiação e outras atividades de manutenção, conforme necessidade previamente estabelecida, melhorando, assim, a qualidade dos produtos, reduzindo refugos e aumentando a vida útil das ferramentas.

O histórico de utilização das ferramentas serve de base para otimização de seu uso. As ferramentas em geral são reutilizáveis e precisam de cuidados, calibrações, afiação etc. antes de serem reutilizadas. Em algum momento da vida útil de cada ferramenta esta deve ser substituída. Recomenda-se um sistema de fornecimento de ferramentas que planeje as necessidades de ferramentas, as controle, localize, armazene, repare, faça expedição e recolhimento e registre, quem usou, porque usou, quanto tempo usou e como usou.

### 9.2.5 Distribuição e alocação de trabalhos

Os trabalhos devem ser distribuídos e alocados pelas pessoas autorizadas. Dentro do planejado, o mestre de produção faz a alocação dos trabalhos, utilizando seu conhecimento prático sobre a habilitação individual dos operadores, tolerâncias reais das máquinas etc. Desvios significativos em relação à seqüência planejada devem ser automaticamente assinalados, para análise das conseqüências em áreas subseqüentes da produção. Quando um operador ou máquina está próximo de completar um trabalho, deve ser gerada a imediata alocação do novo trabalho.

A cada trabalho terminado, trabalhos subseqüentes têm de ser alocados a cada recurso de produção:

- verificação final de que todos os materiais e ferramentas necessários foram recebidos deve ser feita;
- lista de ordens de produção a serem feitas no turno. Providenciar listas de máquinas, pessoas, materiais, ferramentas etc. para garantir as ordens de produção;
- distribuição e alocação de pessoas e equipamentos. Às vezes, os operadores têm alocação predeterminada em certos equipamentos, mas o programa de realocação não percebe isso, por falta de flexibilidade;
- lista de alocação de máquinas. A cada instante, deve existir um registro (mural ou quadro com as ordens de produção penduradas, em andamento etc.) demonstrativo das ordens alocadas para cada máquina e linha de montagem;
- monitoração das filas de espera. O sistema deve estar preparado para lidar com fatos inesperados, como filas longas, máquinas que quebram etc. e gerar ações que contornem essas situações. Observações e relatórios devem ser feitos para evitar tais situações no futuro, ou incorporá-las no programa;
- alocação automática, por computador. Boa parte do trabalho de alocação, que podia ser feita pelo mestre de produção, também pode ser feita por um programa de computador. Mas sempre precisa de algum ajuste que o programa não contempla.

Exemplo: operações que têm *set-up* similares podem precisar de alguém para indicar a preferência e quem fica na fila. Às vezes, os equipamentos são considerados iguais, no entanto, suas propriedades e tolerâncias de trabalho etc. são diferentes. O mesmo acontece com os trabalhadores, quanto a experiência, produtividade etc.

### 9.2.6 Controle do progresso das ordens de produção

Algumas ordens podem eventualmente ser atrasadas e/ou apressadas. No caso de ordens que se tornaram urgentes, devem ser apressadas através da alteração de sua prioridade, inicialmente fixada pela programação da produção. O estágio real de todas as ordens de produção deve ser conhecido, seja manual ou eletrônico, algumas vezes, alterando num quadro a posição do documento de produ-

ção, a cada fase terminada. O serviço prestado aos clientes é melhorado, pois a cada instante podem-se fornecer informações sobre o andamento e as perspectivas de seus pedidos.

### **9.2.7 Controle das ocorrências na produção**

As ocorrências na produção, como término de preparação de uma máquina para iniciar a produção de um lote, as quebras de máquinas etc., devem ser reportadas no momento em que ocorrem. Os departamentos envolvidos em prestar assistência de acordo com o tipo de ocorrências devem imediatamente ser notificados.

As ocorrências na produção também servem para acompanhar e controlar um trabalho depois de alocado, com o fim de alimentar o sistema inteiro. Ao término dos trabalhos, horário, quantidade, refugos etc. devem ficar disponíveis no sistema. Assim, custos, quantidades adicionais, recursos extras devem ser informados e atualizados no sistema. Equipamentos e recursos não serão mais usados nessa ordem, logo estarão disponíveis ou já em uso de outras ordens programadas. Algumas modificações na seqüência de produção podem ser feitas pelas pessoas autorizadas, devendo a monitoração registrá-las e mantê-las sob controle.

Algumas razões para essas mudanças podem ser: processamento paralelo de lotes ou de um mesmo lote em maquinários diferentes; aceleração ou atraso de algumas ordens; retrabalho quando houver lotes com defeitos.

### **9.2.8 Controle e monitoramento da qualidade**

O controle da qualidade pode ser discreto ou contínuo. No caso do monitoramento (contínuo), o custo pode ser maior. Algumas tecnologias digitais podem auxiliar no controle. Para a coleta e verificação de padrões de qualidade do produto e do processo, são necessários pontos críticos de inspeção. Ações de inspeção podem interferir com o processamento das ordens. O controle da qualidade deve detectar a tempo os eventos fora de padrão, ou mesmo a perda de padrão num lote determinado. Recomenda-se agir rapidamente para evitar a multiplicação e propagação dos erros.

O controle da qualidade deve imediatamente ser notificado quando um lote foi completado e a intervalos predeterminados para executar a inspeção, seja em área separada, seja na própria área de inspeção. Os resultados da inspeção devem ser comunicados imediatamente à produção, de maneira a permitir efetuar correções necessárias antes que o lote esteja completado.

Análises dos refugos e outras análises de controle de qualidade devem ser geradas rapidamente, garantindo condições para ações corretivas.

### **9.2.9 Controle da manipulação e/ou manuseio de materiais**

A movimentação dos materiais é crucial no acompanhamento dos lotes. Brito (2000) menciona que de 15 a 25% dos custos de mão-de-obra são gastos na movimentação dos materiais. Somem-se a isso as dificuldades por temperatura e espaços pequenos ou estreitos, que podem atrasar e até comprometer o manuseio do material no seu deslocamento. Tecnologias adequadas são recomendáveis, e, completado o trabalho de produção, a retirada de materiais não utilizados, dos lotes prontos e das ferramentas deve ser acionada de imediato.

### **9.2.10 Controle e monitoração das máquinas**

Nesta monitoração, inclui-se o ajuste automático dos parâmetros de funcionamento das máquinas, como a velocidade de corte, a temperatura de funcionamento, vibração etc., fazendo-se variar esses parâmetros, dentro de tolerâncias, de acordo com o resultado da produção, avaliado a cada instante. Esse controle é realizado geralmente pelo operador de forma manual, mas pode ser automatizada através de sistemas de supervisão.

A monitoração da produção fornece condições de minimizar o custo direto e o custo indireto. O custo indireto em alguns casos é maior que o custo direto do trabalho de produção, em especial, quando o maquinário empregado é sofisticado e caro.

As necessidades de fabricação e montagem precisam passar por um sistema produtivo com limitações de capacidade. A adequação do programa gerado aos recursos (máquinas, homens, instalações etc.) é função do seqüenciamento. Após a definição, para cada item da especificação, das informações necessárias (tamanho do lote, data de início e conclusão das atividades, seqüência e o local onde as mesmas serão executadas) pode-se partir para a emissão e liberação do programa de produção.

As atividades de programação da produção apresentam-se de forma diferenciada, dependendo de como o sistema produtivo está projetado para empurrar ou puxar o programa de produção. No sistema de puxar a produção, normalmente implementado com o *kanban*, as atividades de programação da produção são deixadas a cargo dos funcionários. Já nos sistemas tradicionais de empurrar a produção, há necessidade de definir a seqüência de cada programa de produção.

Nos processos contínuos, os produtos não podem ser identificados individualmente, têm alta uniformidade na demanda e na produção, e os produtos e os processos produtivos são totalmente dependentes. Torna-se economicamente viável estruturar um sistema produtivo em grande escala, direcionado para o tipo de produto que se pretende produzir, permitindo a automatização.

### 9.2.11 Programação e gestão da produção

Esta atividade consiste na fixação de planos e horários da produção, de acordo com a prioridade da operação a ser realizada, determinando, assim, seu início e fim, procurando a eficiência dos recursos. A função principal da programação da produção consiste em atingir um movimento uniforme e rítmico dos produtos através das etapas de produção, ou mais detalhadamente:

- prever as perdas de tempo ou as sobrecargas entre os centros de produção;
- manter ocupada a mão-de-obra disponível;
- cumprir os prazos de entrega estabelecidos.

Existem diversos meios de programação da produção, sendo os mais conhecidos:

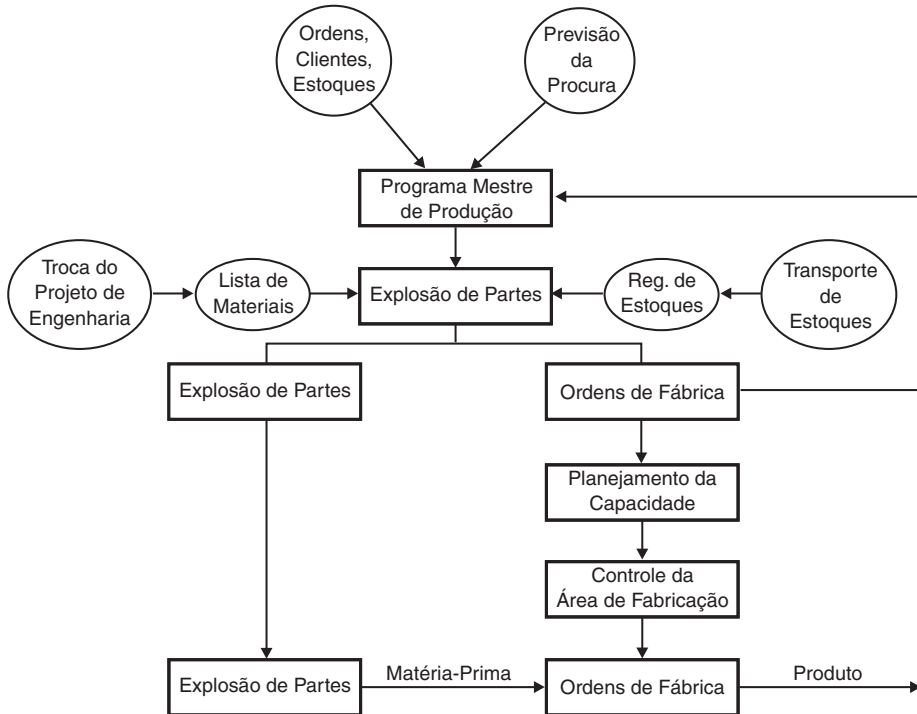
- gráfico de barras – apresenta as linhas de tendência;
- gráfico de Gantt – utilizado em problemas chamados “menores” ou pouco complexos;
- caminho crítico – método matemático para redes que obtêm uma seqüência e utilização ótima dos recursos;
- Pert-Cost – é uma variação do caminho crítico, na qual se reduzem ainda mais os custos.

O programa de produção é afetado por:

- materiais: para cumprir as datas prometidas para entrega;
- capacidade das pessoas: para manter baixos custos. Pode afetar a data de entrega;
- capacidade de produção dos equipamentos;
- sistemas de produção: escolher o melhor sistema de acordo com as necessidades da empresa.

O último passo no processo hierárquico de planejamento e controle é o programa final de operações que atribui a cada trabalhador ou responsável de um centro de trabalho o que fazer para cumprir o plano de materiais, o MPS, plano agregado aos planos estratégicos da empresa.

É importante levar em consideração o tipo de configuração produtiva que tem a planta, pois desta depende o procedimento a empregar na programação e controle. Uma planta industrial pode ser configurada para seqüência de produção contínua ou por lotes. A primeira é aquela em que as máquinas e os centros de trabalho se organizam de acordo com a seqüência de fabricação (linhas de montagem), com processos estáveis e especializados em um ou poucos produtos e em grandes lotes. Neles, as atividades de programação estão encaminhadas principalmente de modo a ajustar a taxa de produção periodicamente.



**Figura 9.5.** Relações para a programação e controle da produção.

Na configuração por lotes: a distribuição de máquinas e centros de trabalho se organizam por funções ou departamentos com a suficiente flexibilidade para processar diversidade de produtos. Estes podem ser de dois tipos:

- **Configurados em *Flow Shop*:** os distintos produtos seguem uma mesma seqüência de fabricação
- **Configurados em *Job Shop*:** os produtos seguem seqüências de fabricação distintas. É uma organização na qual os centros de trabalho e departamentos são organizados em torno de tipos de funções ou especialidades departamentais. As tarefas geralmente são processadas em lotes, sendo que o tamanho do lote se baseia ou no tamanho do pedido do cliente ou em alguma quantidade econômica.

Outras oficinas ou plantas adotaram configurações híbridas para competir. A mais popular é a configuração celular ou células de manufatura. Essas células constituem um sistema de fabricação desenhado para processar famílias de peças, com uma distribuição física tal que permita simplificar os procedimentos de programação e controle.

Em geral, as atividades que se apresentam na Programação e Controle de Operações são: distribuição de cargas, seqüenciamento de pedidos, programação detalhada, fluidez e controle de insumo/produto.

As questões interessantes do programador neste ponto são [Schroeder,1992]:

1. Que capacidade é necessária no centro de trabalho?
2. Qual a data de entrega prometida em cada pedido?
3. Quando começar cada pedido?
4. Como assegurar que os pedidos terminem em tempo?

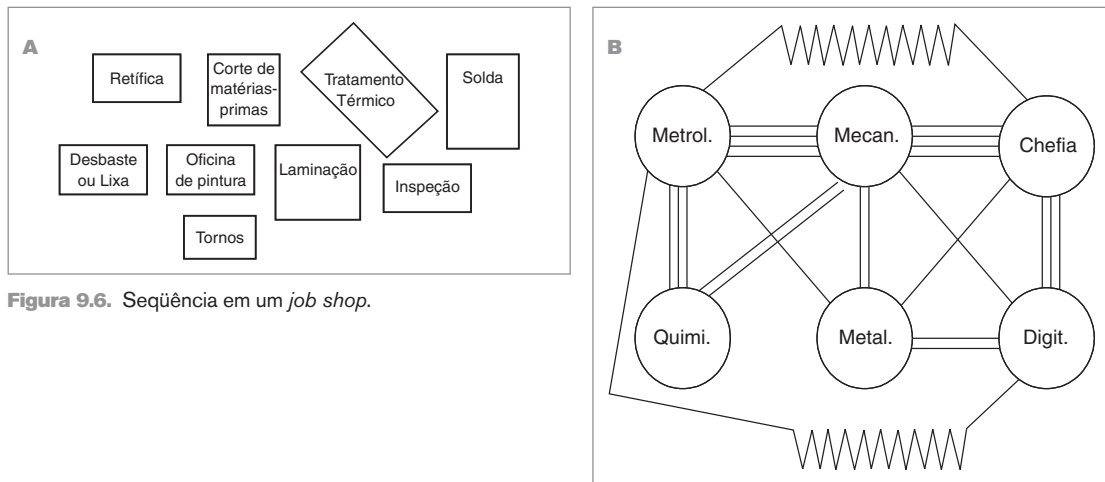


Figura 9.6. Sequência em um *job shop*.

A primeira questão pode ser resolvida com a análise de carga; as questões 2 e 3 podem ser resolvidas com a aplicação das técnicas de seqüenciamento e a programação detalhada; a questão 4 pode ser resolvida com a análise de fluidez e o controle insumo-produto.

**Atribuição de carga:** é definida como a atribuição de tarefas a cada centro de trabalho ou de processo, de maneira a permitir controlar a capacidade e a atribuição de atividades específicas em cada centro de trabalho. Em geral, as técnicas mais utilizadas na atribuição de carga são: gráficos de Gantt, perfis ou diagramas de carga, métodos otimizadores e soluções heurísticas.

**Seqüenciamento de pedidos:** Esta atividade consiste na determinação da ordem em que serão processados os pedidos em cada centro de trabalho, uma vez estabelecida a existência de capacidade. O problema do seqüenciamento se torna mais complexo à medida que aumenta o número de centros de trabalho, sem importar a quantidade de pedidos.

É importante tomar em conta o tipo de configuração da planta, pois dele depende a aplicabilidade das diferentes técnicas. No referente a oficinas configuradas em *flow shop*, as técnicas mais conhecidas são:

1. Técnicas de seqüenciamento numa máquina: algoritmo húngaro, algoritmo de Kauffman, regra SPT e o método de perseguir objetivos utilizado nos sistemas *kanban*.
2. Técnicas de seqüenciamento em várias máquinas: regra de Johnson para N pedidos e duas máquinas, regra de Johnson para N pedidos e três máquinas e regras para N pedidos e M máquinas (algoritmo de Campbell-Dudek-Schmith, algoritmo de Bera, técnicas de simulação, sistemas expertos e, mais recentemente, os sistemas cooperativos assistidos).

Para as oficinas configuradas em **job shop**, devido à diversidade na seqüência de operações, não é possível utilizar técnicas de otimização, em que a seqüência de operações se estabelece em função dos objetivos específicos de cada programador, através do uso de regras de prioridade.

As regras de prioridade mais utilizadas são [Buffa & Sarin,1995; Monks, 1991; Russell & Taylor,1998; Mayer,1977; Schroeder, 1992]:

- FCFS: First come/ First serve (primeiro a entrar, primeiro a ser atendido).
- FISFS: First In System/ First Serve (primeiro no sistema, primeiro a ser atendido)
- SPT: Shorts Processing Time (menor tempo de processamento).
- EDD: Earliest Due date (data de entrega mais próxima).
- CR: Critical Ratio (razão crítica).

- LWR: Least Work Remaining (mínimo trabalho restante).
- FOR: Fewest Operations Remaining (número mínimo de operações restantes).
- ST: Slack Time (tempo de folga).
- ST/O: Slack Time per Operation (tempo de folga por operação).
- NQ: Next Queue (próximo na fila).

**Programação detalhada:** Determina os momentos de começo e fim das atividades de cada centro de trabalho, assim como as operações de cada pedido para a seqüência realizada. As técnicas mais utilizadas são:

- 1) programação para frente e para trás;
- 2) listas de expedição;
- 3) gráficos de Gantt;
- 4) programação da capacidade finita.

**Fluidez:** Permite verificar que os tempos planejados se cumpram, de tal forma que, se existem desvios na produção real, possam ser tomadas medidas corretivas a tempo.

**Controle de insumo/produto:** Controlam os níveis de utilização da capacidade de cada centro de trabalho, mediante os informes de entrada e saída.

Com a técnica escolhida, a programação detalhada e o controle de operações a curto prazo devem ser traçados e executados em função do alcance dos objetivos básicos: a redução de custos e o aumento do serviço ao cliente.

## 9.3 CONTROLE ATRAVÉS DE INDICADORES DE DESEMPENHO

### 9.3.1 Introdução

Atualmente, a implantação de um Sistema de Gestão da Qualidade, em muitas organizações, provoca alterações nos vários processos empresariais, gerando resultados para os clientes internos e para a empresa como um todo. Para medir e avaliar a eficácia desses processos e os resultados obtidos com a implantação do Sistema de Gestão da Qualidade, faz-se necessário definir e adotar indicadores.

Ao propor que indicadores devem ser estruturados a partir dos itens de controle, Tironi (1993) menciona que os indicadores da qualidade são ferramentas utilizadas para controlar o produto ou o processo. Da mesma forma, o autor defende que os indicadores da qualidade e produtividade são a expressão medida da qualidade de um produto ou processo, ou da produtividade de um processo.

Os indicadores são formas quantificáveis de características de produtos e processos, utilizados para acompanhar e melhorar os resultados ao longo do tempo, devendo estar associados a uma freqüência de medições. São usados para rodar o ciclo PDCA. É importante registrar o conceito dado por Figueiredo (1996, p. 43): “indicador é uma função que permite obter informações sobre características, atributos e resultados de um produto, sistema ou processo, ao longo do tempo”. Essa conceituação expressa uma preocupação de que indicador seja uma função ao longo do tempo. A utilização cada vez mais acentuada de indicadores detectada nas organizações atuais, na medida em que seu gerenciamento nem sofrendo alterações significativas, motivado principalmente pela concorrência global, o que leva à necessidade da rápida mobilização de novos recursos e ferramentas de gestão.

### 9.3.2 Principais atributos dos indicadores

Os principais objetivos dos indicadores são: explicitar as necessidades e expectativas dos clientes, viabilizar a aplicação das metas do negócio, dar suporte à análise crítica dos resultados do negócio, às tomadas de decisão e ao controle e planejamento, bem como contribuir para a melhoria dos processos e produtos da organização.

Indicadores devem ser desenvolvidos criteriosamente, de forma a gerarem informações relevantes. Exemplo de critérios para geração de indicadores são ilustrados na Tabela 9.1.

**Tabela 9.1.** Critérios para geração de indicadores, adaptado de Figueiredo (1996)

Seletividade ou Importância	Fornecer informações sobre variáveis-chave do produto, processo ou sistema
Simplicidade e Clareza	Ser de fácil aplicação e compreensão em todos os níveis da organização
Abrangência	Ser suficientemente representativo; deve-se priorizar os indicadores relacionados ao contexto global da organização e captar as etapas mais importantes e críticas dos seus processos
Rastreabilidade e Acessibilidade	Permitir fácil identificação da origem os dados, seu registro, adequada manutenção e disponibilidade dos resultados, incluindo os responsáveis envolvidos
Comparatividade	Ser de fácil comparação com referenciais apropriados, tais como o melhor concorrente, a média do ramo e o referencial de excelência
Adaptabilidade	Dar resposta às mudanças de comportamento e exigência dos clientes
Estabilidade	Ser perene e gerado com base em procedimento sistemático
Disponibilidade	Facilidade de acesso para coleta e consulta futura
Baixo custo de obtenção	Ser gerado facilmente e a baixo custo, utilizando unidades adimensionais ou dimensionais simples
Praticidade	O indicador deve funcionar na prática para a tomada de decisões

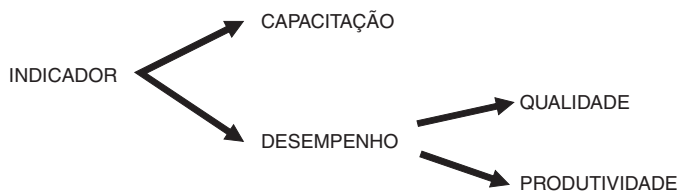
### 9.3.3 Identificação de tipos de indicadores

Os indicadores são classificados sob vários critérios. No caso específico dos indicadores globais, utilizados em empreendimentos de engenharia: prazo, custo e qualidade, buscamos sua classificação por vários autores.

Souza (1995) agrupa os tipos de indicadores e suas subdivisões conforme a Figura 9.7, cujas definições são:

- indicador da capacidade – medida que expressa informações sobre a estimativa ou sobre a estrutura de produção, relacionada ao tempo (por exemplo: capacidade instalada, número de empregados);
- indicador da qualidade – mede o desempenho de um produto ou serviço (por exemplo: satisfação dos clientes, número de revisões do projeto);
- indicador da produtividade – mede o desempenho dos processos (vendas por funcionário, índice de absentéismo).
- indicador do desempenho – é uma relação matemática entre duas ou mais medida dos resultados obtidos de um processo. O resultado pode se referir à qualidade ou produtividade do processo acompanhado;

No caso dos indicadores de desempenho, podem ser globais ou específicos.



**Figura 9.7.** Tipos de indicadores, segundo Souza (1995).

Os indicadores de prazo e custo seriam classificados por desempenho/produtividade/global, e o indicador da qualidade, por desempenho/qualidade/global.

Os indicadores da qualidade e produtividade ainda podem ser divididos em corporativos e setoriais, ou mesmo estratégicos e operacionais. Os indicadores estratégicos estão relacionados à gestão estratégica do sistema organizacional, e os indicadores operacionais fornecem informações sobre o desempenho dos processos-chave.

Considere um empreendimento de engenharia como sendo uma parte da organização e, portanto, os indicadores de prazo, custo e qualidade são considerados operacionais ou específicos. Porém, esses mesmos indicadores de prazo e custo podem ser estratégicos ou globais, quando aplicados no gerenciamento das estratégias corporativas da organização.

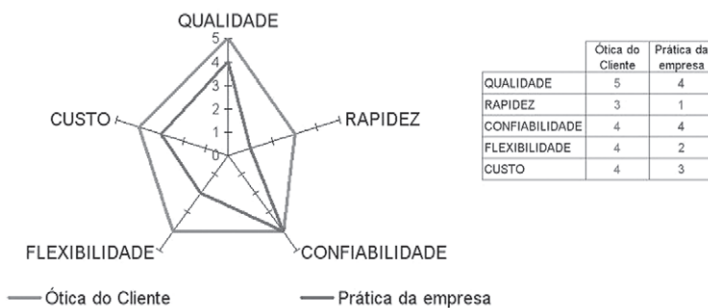
**9.3.4 Principais indicadores utilizados na gestão**

Medir o critério desempenho é o processo de quantificar ações e o desempenho da produção é presumido como derivado de ações tomadas por sua gestão. O desempenho aqui é definido como o grau em que a produção preenche os cinco objetivos de desempenho em qualquer momento, de modo a satisfazer seus consumidores.

Os cinco objetivos de desempenho usados neste capítulo podem ser vistos como as dimensões do desempenho global que satisfazem os consumidores: qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo. Observe que todos são compostos de muitas medidas menores.

Por exemplo, o custo de uma operação é derivado de muitos fatores, que podem incluir a eficiência de compras da operação, a eficiência com a qual ela converte os materiais, a produtividade de seu pessoal, a razão entre o pessoal direto e indireto etc.

Todos esses fatores individualmente dão uma visão parcial do desempenho de custos da produção, e muitos deles se sobrepõem em função da informação que incluem. Todavia, cada um deles dá uma perspectiva do desempenho de custos da produção, o que poderia ser útil seja para identificar áreas com oportunidades para melhoria, seja para monitorar a extensão das melhorias realizadas.



**Figura 9.8.** Objetivos gerenciais de desempenho: planejado versus realizado.

Se a produção vê seu desempenho em “custo” como insatisfatório, desdobrando-o em “eficiência e de compras”, “eficiência de transformação”, “produtividade do pessoal” etc., é possível explicar as causas raízes do mau desempenho. Se as causas significativas do mau desempenho pudessem ser identificadas, elas poderiam ser rastreadas ao longo do tempo para avaliar o grau de melhoramento.

Os objetivos de desempenho têm efeitos internos e externos. Os efeitos internos de alta qualidade, rapidez, confiabilidade e flexibilidade têm, geralmente, como objetivo reduzir os custos de produção.



Dentro dos processos de produção e operações:

- a qualidade reduz custo e aumenta a confiabilidade na operação interna;
- a rapidez reduz estoques e reduz o risco;
- a confiabilidade na operação interna economiza tempo e dinheiro e dá estabilidade;
- a flexibilidade, dentro da operação, agiliza a resposta e mantém a confiabilidade.

Quanto à flexibilidade, o que pode ser medido são:

- produto/serviço – produtos e serviços diferentes;
- composto (*mix*) – ampla variedade ou composto de produtos e serviços;
- volume – diferentes quantidades de produtos/serviços;
- entrega – diferentes tempos de entrega.

Chão de fábrica e oficinas

Vamos agora quantificar e avaliar o desempenho do chão de fábrica na busca pela competitividade. Os tipos de indicadores são:

**EFICÁCIA**

EFICIÊNCIA  
EFETIVIDADE  
LUCRATIVIDADE  
PRODUTIVIDADE  
QUALIDADE



**OBJETIVO OU META**

PADRÃO OU REFERÊNCIA  
MISSÃO OU RAZÃO DE SER  
PREÇO X PRODUTIVIDADE  
.....vários.....  
.....vários.....

A eficácia mede o grau de cumprimento das metas programadas. Ela é externa ao processo (por exemplo, estabelecida pelo usuário do recurso), e tende a variar no tempo. Resumindo, esse indicador significa basicamente fazer a coisa certa.

A eficiência mede o grau de acerto (racionalização ou economicidade) na utilização dos recursos empregados e é interna ao processo – por exemplo, estabelecida pelo fabricante do recurso. Tende a não variar no tempo. Em sistemas com variadas entradas, a eficiência também pode ser medida na saída. Resumindo, esse indicador significa fazer certo as coisas.

A efetividade mede o grau de utilidade das metas atingidas (ou dos resultados alcançados.) Procura medir se está realmente “valendo a pena” ser eficaz no dia-a-dia, com eficiência, produtividade e qualidade. Resumindo, esse indicador significa fazer certo a coisa útil (ou seja, alcançar a missão com produtividade no longo prazo).

A produtividade mede as saídas geradas (eficácia) em relação às entradas consumidas (eficiência) e resulta em:

- maior rapidez;
- aumento da taxa de produção;
- menor custo;
- menor tempo de produção;
- maior rotatividade de estoque;
- fluxo de caixa garantido;
- menos desperdícios;
- menos homens/hora;

- menos acidentes de trabalho;
- maior lucro líquido;
- menor consumo de energia;
- maior retorno sobre investimento.

A qualidade é um indicador extremamente complexo e pode se referir à qualidade do processo e do produto, sendo que a primeira influencia fortemente a segunda. A qualidade do processo envolve: emprego de tecnologia moderna, segurança no processo, padronização, documentação, baixo índice de retrabalho e refugo, respeito a normas e boas práticas socioambientais etc. Já a qualidade do produto, como consequência, refere-se a atendimento de requisitos e normas técnicas, facilidade de uso, durabilidade, custo compatível, confiabilidade, robustez etc. Aspectos de pós-venda podem ainda ser considerados, como suporte técnico, garantia e capacidade de reciclagem.

Os itens de verificação vinculam-se aos de controle por uma relação de causa e efeito. Por exemplo, se há problemas na matéria-prima, alguns dos itens de controle do fornecedor podem ser, temporariamente, itens de verificação do consumidor.

Os índices evitam decisões baseadas em conceitos subjetivos, como “bom” e “rápido”.<sup>2</sup> Os indicadores devem refletir aspectos diretamente vinculados ao gerenciamento do processo e seu ambiente.

A comparação entre resultados diversos deve levar em conta as suas diferentes condições, sejam de produção, sejam quanto aos seus limites.

Os indicadores de desempenho devem considerar a relação entre duas ou mais medidas de desempenho, sendo comparados a metas preestabelecidas. É importante não nos limitarmos a utilizar os índices “históricos”: eles já embutem o nível de eficiência (ou ineficiência) da organização.

As metas e os padrões devem refletir ou exprimir de modo ponderado os limites do processo, do mercado e dos recursos disponíveis, dentro de um período determinado.

Já os índices refletem os resultados efetivamente obtidos. Comparados aos padrões, eles revelam os problemas representados pelos desvios.

**Tabela 9.2.** Fórmulas para cálculo de índices de controle

CARACTERÍSTICA DA QUALIDADE	ITEM DE CONTROLE	FÓRMULA
Confiabilidade do produto	Índices de atendimento pós-vendas	Quantidade vend. no semestre Quant. de atend. no semestre
Satisfação dos trabalhadores	Índices de faltas; Índices de visitas médicas	$N^{\circ}$ faltas não justif./ $N^{\circ}$ faltas T $N^{\circ}$ visitas no mês/ $N^{\circ}$ médio pessoal
Satisfação dos clientes	Índices de reclamações	$N^{\circ}$ reclam no mês/ $N^{\circ}$ de vendas-mês
Rapidez de atendimento	Índice de tempo de atendimento	Tempo total atend-mês/ $N^{\circ}$ atend.-mês
Segurança no trabalho	Acidentes por pessoa	$N^{\circ}$ acidentes-ano / $N^{\circ}$ médio pessoal

<sup>2</sup> Como nem sempre é possível um alto grau de objetividade, existem diversas técnicas para lidar com critérios subjetivos.

### Índices de controle e conceitos básicos

- Índices: são os resultados numéricos obtidos a partir dos indicadores.
- Padrões: são valores de índices definidos como referência para um processo.
- Problema: desvio do índice de suas faixas de tolerância.
- Metas: índices desejados num determinado período.
- Item de controle: é uma característica da produção representada pelo indicador.
- Item de verificação: acusa potencial de problemas.

As seguir serão apresentados alguns exemplos.

### Indicadores como Metas e/ou compromissos (Quantidade).

A efetividade de uma oficina pode ser calculada quanto a:

- manutenção e reparos em equipamentos e acessórios, além de fabricação de peças;
- recuperação de peças, móveis, equipamentos etc.

#### 1. Serviços de Manutenção / Reparos:

OFICINA X:

$$\begin{aligned} \text{ANO 2006 Serviços de Manutenção (Em vezes)} &= \frac{\text{Serviços de Manutenção Efetuados}}{\text{Serviços de Manutenção Programados}} \\ &= 24513 / 25567 \\ &= 95,8\% \end{aligned}$$

Nível de 95,8% da quantidade de Serviços de Manutenção Programados

$$\begin{aligned} \text{ANO 2006 Serviços de Manutenção (Em vezes)} &= \frac{\text{Serviços de Manutenção Efetuados}}{\text{Serviços de Manutenção Programados}} \\ &= 2314 / 2329 \\ &= 99,3\% \end{aligned}$$

Nível de efetividade de 99,3% de Serviços de Manutenção realizados.

Esse indicador avalia em que medida se atinge o plano previsto para uma atividade determinada.

OFICINA X: Primeiro trimestre 2007

$$\begin{aligned} \text{Fabricação de peças de reposição} &= \frac{\text{Fabricação Real}}{\text{Fabricação planejada}} \\ &= 3595 / 2800 \\ &= 1,28 \\ &= 128\% \end{aligned}$$

**Observação:** Nesta oficina, no primeiro trimestre do ano, se produziu além do planejado na fabricação de peças de reposição, que foi de 128%, portanto, a efetividade da oficina nesse aspecto é elevada.

$$\begin{aligned}\text{Recuperação de peças de reposição} &= \frac{\text{Recuperação efetuada}}{\text{Recuperação programada}} \\ &= 1270 / 1345 \\ &= 94,4\%\end{aligned}$$

A recuperação de peças de reposição no primeiro trimestre do 2007 alcançou 94,4% de efetividade

$$\begin{aligned}\text{Recuperação equipamentos} &= \frac{\text{Recuperação efetuada}}{\text{Recuperação programada}} \\ &= 56 / 71 \\ &= 78,8\%\end{aligned}$$

A recuperação de equipamentos no período analisado foi de 78,8%, o que não representa uma boa efetividade quanto à quantidade programada. Portanto, será necessário determinar os fatores que provocam essa baixa efetividade.

### Indicadores relativos à Devolução (Qualidade)

Tanto a produção (chão de fábrica) como os serviços consomem recursos diversos como horas/homem, horas/máquina, peças, energia etc. cujo uso deve ser otimizado. Portanto, deve-se evitar desperdícios.

Alguns indicadores de controle captam, por exemplo, clientes não satisfeitos ou similares, produtos com defeitos, materiais com defeitos etc.

OFICINA Z:

Março 2007

$$\begin{aligned}\% \text{ de devoluções} &= \frac{\text{Quantidade de produtos devolvidos}}{\text{Quantidade de produtos fornecidos}} \\ &= 1 / 234 \\ &= 0,43\%\end{aligned}$$

A porcentagem de devoluções neste mês é de 0,43%, o que significa uma boa qualidade dos nossos produtos fornecidos.

Agosto 2007

$$\begin{aligned}\% \text{ de devoluções} &= \frac{\text{Quantidade de produtos devolvidos}}{\text{Quantidade de produtos fornecidos}} \\ &= 1 / 305 \\ &= 0,33\%\end{aligned}$$

No mês analisado se observa a excelente qualidade dos nossos produtos fornecidos. Apenas um dos 305 produtos fornecidos foi devolvido.

### Indicadores na entrega (Demora/Atraso)

O controle deste indicador é muito importante já que se refere ao atraso na entrega de produtos e/ou serviços relativos ao *time-to-market*, ou tempo de resposta que uma empresa ou setor dá perante uma demanda, situação ou compromisso. No limite, um atraso na entrega de serviços de emergência pode resultar em graves conseqüências, especialmente no setor saúde etc. manutenção de elevadores, socorros de vários tipos etc., entrega de pizzas, manutenção de ambulâncias e equipamentos etc.

Os indicadores propostos são similares aos indicadores de devolução.

### Indicadores de eficiência no uso dos recursos

Os requerimentos unitários de insumos (RUI), como maquinário, materiais, espaços, energia, horas/homem, peças de reposição etc. são os necessários para a produção de bens ou serviços. O mau uso desses recursos é desperdício que se traduz em repetição de custos. Além de um serviço malfeito, o retrabalho significa perda de clientes etc. Adicionalmente é bom lembrar que um bom gestor enxerga ainda os desperdícios tanto ocultos como os visíveis.

FÁBRICA X : Exemplos de alguns indicadores RUI para a Mão-de-Obra

Ano 2007

$$\frac{\text{Horas/Homem}}{\text{Produção (Kg.)}} = \frac{36263}{231543,25} = 0,156$$

No ano de 2007, para cada kg. de produção foram utilizados 0,156 horas/homem.

Mês 1: ano 2007 -> Setor A

$$\frac{\text{Horas/Homem}}{\text{Produção (Kg.)}} = \frac{3111}{8943,34} = 0,35$$

No mês 1 de 2007, no setor A, para cada kg de produção foram utilizados 0,35 horas/homem.

Mês 4: ano 2007 -> Setor A

$$\frac{\text{Horas/Homem}}{\text{Reparos + Manutenção}} = \frac{2981}{307 = 15} = 9,25$$

Neste mês 4 , no setor A, para a realização de cada reparo e manutenção se usaram 9,25 horas/homem.

### Observações

Para uma avaliação mais abrangente, recomenda-se que se comparem os resultados com metas e/ou indicadores padrão da área, para saber seu posicionamento e posterior tomada de decisões.

Um sistema de indicadores devidamente elaborado ajuda a medir a eficiência econômica da unidade em análise e a relação entre resultados e gastos.

O sistema de indicadores padrão nos levará a pensar que, para cumpri-lo, o setor de recursos humanos precisa melhorar a seleção do pessoal, qualificação mínima e também oferecer um sistema de incentivos salariais etc. que motive o trabalhador a engajar-se no aumento da qualidade e quantidade de trabalho.

Aspectos tecnológicos ajudam a aumentar a eficiência, produtividade e qualidade dos setores produtivos.

## ■ Estudo de caso XINLIN CORP.

No departamento de vendas da XINLIN existe um cargo denominado conselheiro de negócios que é ocupado por profissionais responsáveis, cada um, por cerca de 20 pontos-de-venda. Em média, esse número de pontos constitui uma zona dentro de uma certa região, delimitada geograficamente.

Assim, por exemplo, na cidade do Rio de Janeiro, a XINLIN mantém cinco conselheiros de negócios: um que cuida dos pontos-de-venda da Zona Sul; outro que é responsável pelo Centro e Tijuca.

Um conselheiro de negócio tem como missão cuidar de aspectos legais, comerciais e dar conselhos ao dono das lojas de forma a tocar o negócio da melhor maneira possível, tanto para a distribuidora como para o revendedor (dono das lojas). Além disso, é ele que efetua a venda e zela pela qualidade dos produtos entregues pela XINLIN ao posto revendedor (*selling-in*) que irá, a seguir, revendê-los ao consumidor final (*selling-out*).

Visando estimular o desempenho dos conselheiros, a diretoria estabelece mensalmente metas de venda diferenciadas que consideram as características e o potencial de cada zona.

Os produtos da XINLIN têm um preço padrão de lista (R\$2,35 por litro) que é baseado no custo padrão de produção, mas os conselheiros têm autonomia para conceder descontos para os revendedores. A decisão de quanto dar de desconto cabe exclusivamente ao conselheiro, que está conscientizado de que cada venda deve trazer o maior retorno possível para a XINLIN. O revendedor, por seu turno, tem o direito de devolver o produto que chega depois do prazo especificado ou é entregue com algum problema técnico ou de embalagem.

Cada conselheiro dispõe de um carro frota, de um telefone celular e de um *laptop* com impressora. Todos esses bens são propriedade da XINLIN, que paga o combustível, o uso do telefone e outras despesas do gênero. Para cada conselheiro, é previsto um gasto mensal padrão de R\$6.000,00.

Ao fim de cada mês, com base nos resultados associados a cada conselheiro, a diretoria da XINLIN calcula indicadores que permitem à organização divulgar um *ranking* com o desempenho dos Conselheiros.

Admita que:

- os produtos da XINLIN são produtos novos que estão sendo agora lançados no mercado;
- as metas de venda estabelecidas pela diretoria expressam verdadeiramente o potencial de venda existente em cada zona.

Questões:

1) Analise os dados do quadro de resultados a seguir, que apresenta, para um certo mês, as metas de venda, as vendas realizadas, as devoluções, os itens em estoque, o *selling-out*, o preço médio e os gastos efetuados pelos cinco conselheiros da XINLIN. Em seguida, preencha a tabela de indicadores apresentando os resultados de cada um em termos de eficácia, eficiência, produtividade, lucratividade, qualidade e efetividade, para o negócio de comercialização do grupo XINLIN como um todo.

QUADRO DE RESULTADOS (DADOS COLETADOS)

	CONSELH. 1	CONSELH. 2	CONSELH. 3	CONSELH. 4	CONSELH. 5
Metas de venda (litros)	10.000	16.000	11.500	13.000	12.000
<i>Selling-in</i> <sup>3</sup> (litros)	12.000	13.500	10.500	13.500	9.000
Devoluções (litros)	1.000	1.200	2.000	500	0
Produto em estoque no revendedor (litros)	2.000	1.300	400	100	0
<i>Selling-out</i> (litros)	9.000	11.000	8.100	12.900	9.000
Preço médio (R\$)	2,10	2,35	3,35	2,70	2,20
Gastos <sup>4</sup> (R\$)	7.500	6.000	6.500	8.000	5.000

<sup>4</sup> Na coluna "Gastos" incluem-se todos os gastos relacionados à atividade de cada Conselheiro, inclusive quaisquer custos relacionados às devoluções.

## QUADRO DE RESULTADOS CONSOLIDADO

	CONSELH. 1	CONSELH. 2	CONSELH. 3	CONSELH. 4	CONSELH. 5
Eficácia					
Eficiência					
Produtividade					
Lucratividade					
Qualidade					
Efetividade					

2) Analisando os indicadores calculados, a diretoria da XINLIN fez, para cada um dos conselheiros, um comentário visando a melhoria de seu desempenho. Anote no parêntesis o número do conselheiro a quem você acredita foi feita cada uma das sugestões/comentários a seguir:

- ( ) “Seu desempenho foi excelente. Agora é só tratar de ser um pouco mais econômico. Meus parabéns!”
- ( ) “Você é quem mais está fazendo dinheiro por aqui. Mas se não ficar de olho, vai matar a ‘galinha dos ovos de ouro’. O negócio tem de ser bom para todo mundo, senão ele não se sustenta.”
- ( ) “Você é um sujeito zeloso com os recursos da Companhia, mas, neste momento, o fundamental é aumentar nossa participação no mercado. Está lhe faltando criatividade. Você já deve ter percebido que só dar desconto é muito pouco para a gente chegar lá.”
- ( ) “Concordo que você se superou, mas eu pergunto: não saiu muito caro? Será que não dá para compatibilizar a sua “lábria” com um pouco de parcimônia nas despesas?”
- ( ) “Você é um sujeito produtivo, mas ou está lhe faltando criatividade ou essa área está muito grande para você.”

3) Considerando os indicadores de desempenho calculados e o estágio do negócio relatado anteriormente, faça um *ranking* dos Conselheiros hierarquizando-os em função do seu desempenho (isto é, dê notas de 1 a 5 sendo 1 a nota do melhor e 5 a nota do pior):

CONSELH. 1	CONSELH. 2	CONSELH. 3	CONSELH. 4	CONSELH. 5

### Controle de projetos

Na condução de projetos, constatamos, prioritariamente, o uso de indicadores para os aspectos de custo, prazo e qualidade, sendo que para os dois primeiros existem indicadores globais e parciais, e para o último utilizam-se somente indicadores parciais.

#### 9.3.4.1 Indicadores de prazo

a) Indicador Global: no controle do prazo de um empreendimento, o cronograma de barras (gráfico de Gantt) é usado desde o início do século. Expõe o autor que os cronogramas dão informações limitadas do andamento dos serviços. O uso de curvas “S” permite avaliar a evolução da obra, já que a construção é composta de vários processos, permitindo um acompanhamento do conjunto.

Na gestão de empreendimentos, há um indicador intitulado índice de realização física, que é um indicador global do andamento dos serviços e fornecimento de bens durante toda a execução do empreendimento, também conhecido por indicador de desempenho/produtividade/global. Esse indicador é obtido ao longo de todo o processo, em datas predefinidas, permitindo conhecer se as previsões de conclusão das atividades estão sendo cumpridas ou não. O seu valor é calculado da seguinte forma:

$$\text{IRF 1 (\%)} = \frac{R_i}{P_i} \times 100$$

Onde: IRF *i* é o indicador global de prazo no período “*i*”;

*R<sub>i</sub>* é o percentual de serviços e fornecimentos realizados (realização acumulada) no período “*i*”;  
*P<sub>i</sub>* é o percentual de serviços e fornecimentos, com previsão de realização (previsão acumulada) no período “*i*”.

Destacamos que, ao longo do empreendimento, o valor do indicador deve estar em torno de 100%, pois isso significa que o percentual de realização dos serviços é praticamente igual ao previsto de início, demonstrando que o empreendimento não está atrasado.

b) Indicadores Parciais: Segundo Halpin *et al* (1998), somente o indicador de realização física não é suficiente para garantir o resultado satisfatório de prazo de um projeto ou empreendimento. Portanto, além do indicador global de prazo, faz-se necessário o uso de indicadores de realização física para as atividades que compõem um empreendimento, ou seja, indicadores de realização física do projeto de engenharia, do suprimento, da construção e montagem, de testes e de operação assistida. O uso desses indicadores permite, ao detectar onde existem problemas, tomar medidas corretivas direcionadas para as atividades em atraso. São denominados indicadores parciais, ou de desempenho/produzividade/específicos.

A seguir, listamos os indicadores parciais de prazo que são normalmente utilizados em empreendimentos de engenharia: tempo médio mensal de atraso na entrega de material, tempos produtivos, improdutivos e auxiliares, índice de realização física das atividades de projeto executivo, suprimento, construção e montagem, testes e operação assistida, índice de cumprimento de prazo, tempo de partida das unidades e tempo do ciclo do processo total e dos processos-chave.

#### 9.3.4.2 Indicadores de custo

a) Indicadores Globais: O controle de custo de empreendimentos permite, além da administração do valor do investimento, subsidiar a organização na avaliação de novos empreendimentos. Na Seção 9.3.4.1 foi apresentado o indicador global de prazo. Da mesma forma, o indicador global de custo para empreendimentos é o índice de realização de custo. Esse indicador é obtido da seguinte forma:

$$\text{IRC 1 (\%)} = \frac{R_i}{P_i} \times 100$$

Onde: IRC *i* é o indicador global de custo no período “*i*”;

*R<sub>i</sub>* é o percentual de serviços e fornecimentos realizados financeiramente (realização acumulada) no período “*i*”;

*P<sub>i</sub>* é o percentual de serviços e fornecimentos com previsão de realização financeira (previsão acumulada) no período “*i*”.

Esse indicador, da mesma forma que o indicador global de prazo, não é suficiente para gerenciar o empreendimento. Outros indicadores são também utilizados como ferramentas gerenciais, por exemplo, a curva “S”, a ser vista na Seção 9.6.3. Com isso, detectamos que o citado órgão utiliza duas curvas financeiras previstas para seus empreendimentos, sendo uma delas para custo e outra para desembolso.

b) Indicadores Parciais: A seguir, listamos os indicadores parciais que são utilizados em empreendimentos de engenharia: despesas financeiras/faturamento, taxa de valor agregado, índice de economicidade, índice de planejamento orçamentário, índice de participação nos investimentos, custo de pessoal agregado ao investimento, índice de apoio da área funcional e índice de apoio complementar a investimentos.



No final do empreendimento, visando evitar a ocorrência de uma grande variação entre o valor orçado e o efetivamente realizado, cabe ao responsável pela gestão do projeto ter um controle maior do valor do orçamento inicial do empreendimento.

#### 9.3.4.3 Indicadores da qualidade

a) Indicador Global: Um indicador que poderia ser chamado de global é o número de não-conformidades detectadas em atividades de fiscalização ou auditoria durante a evolução de um projeto. Não-conformidades podem ser detectadas tanto na fase de montagem mecânica como em problemas de projeto de engenharia, equipamentos, construção civil e armazenamento. Portanto, é veementemente a necessidade de controlar a qualidade de projetos ou empreendimentos nas fases anteriores à montagem. As auditorias internas da Petrobras consideram um empreendimento de boa qualidade quando o percentual de conformidades detectadas é igual ou superior a 85%, o empreendimento auditado é então considerado satisfatório (Ferreira, 1998).

Entretanto, não existe uma aderência entre o número de não-conformidades e a quantidade de serviços executados, pois a quantidade de não-conformidades é função da forma de atuação de quem identifica as mesmas, não é possível utilizá-lo como indicador da qualidade global.

b) Indicadores Parciais: No que se refere a indicadores específicos, que permitem acompanhar o processo nomeado de empreendimento, existem alguns que podem ser chamados de indicadores parciais da qualidade. No que se refere à qualidade, o Construction Industry Board (1998), ao mostrar as estatísticas de prazo e custo de empreendimentos de engenharia, não avaliou a conformidade da construção com as especificações técnicas. Em vez disso, mostrou o resultado da satisfação dos clientes, com respeito aos trabalhos concluídos e aos serviços executados. A avaliação da qualidade medida somente pela satisfação dos clientes não mostra como a qualidade do projeto de engenharia, suprimento, construção e montagem dos empreendimentos foi gerenciada, sendo constatado, simplesmente, se os clientes têm ou não uma alta aceitação dos produtos finais.

A seguir, listamos os indicadores da qualidade que são utilizados em empreendimentos de engenharia: índice de compacidade, índice de reparo de soldas, número de modificações de projeto/mês, número de incompatibilidades de projeto/mês, índice de conformidade nas auditorias de qualidade da contratada e índice de desempenho das instalações.

#### *Considerações finais sobre indicadores*

Ao analisar os sete indicadores globais abrangendo os aspectos prazo, custo e qualidade, notamos que os indicadores números 1 a 2, 4 e 6 são utilizáveis durante todo o gerenciamento do projeto. Entretanto, os indicadores 1 a 2 só monitoram prazo e custo de forma conjunta, e o indicador 4, ao avaliar prazo, custo e qualidade, capta opiniões qualitativas de entrevistados, deixando de considerar os desvios reais dos valores de prazo, custo e qualidade, em relação às suas previsões. Já o indicador número 6 preocupa-se, fundamentalmente, com a produtividade da mão-de-obra. Os demais avaliam o produto final e a satisfação do cliente.

### **9.4 O CONTROLE NO *JUST-IN-TIME***

Os conceitos sobre *Just-in-time* foram apresentados no Capítulo 3, agora apresenta-se o detalhamento do controle no *Just-in-time*.

#### **9.4.1 O controle sob a ótica do *just-in-time***

O sistema *Just-in-time/Kanban* freqüentemente é associado a uma política de redução do estoque de matérias-primas através da sua entrega em intervalos e lotes menores. Mas o termo sugere muito mais que se concentrar apenas no tempo de entrega, pois isso poderá estimular a superprodução an-

tecipada, resultando em esperas desnecessárias. Na verdade, o sistema *Toyota* também realiza a produção com estoque zero, ou sem estoque, o que equivale a dizer que cada processo deve ser abastecido com os itens necessários, na quantidade necessária, no momento necessário – *just-on-time*, ou seja, no tempo certo, sem geração de estoque.

Na realidade, o sistema é muito mais abrangente, como pode ser ilustrado na Figura 9.9. Internamente à fábrica, há mudanças do trabalho e do sistema de informações. De uma maneira geral, dois são os princípios desse sistema de produtividade, *Just-in-time* e o controle autônomo dos defeitos. O *kanban* propriamente dito é um sistema de informações para gerir o *just-in-time*.



**Figura 9.9.** O sistema *just-in-time*.

A Tabela 9.3 apresenta um resumo sobre as características do JIT relevantes tanto quanto ao produto como quanto ao processo discutidas no Capítulo 3.

**Tabela 9.3.** Características do JIT

FATORES	FABRICAÇÃO SEM ESTOQUES – (JIT)
PRODUTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linha de produtos limitada</li> <li>• Produção repetitiva</li> <li>• Produtos padronizados</li> <li>• Produtos não complexos</li> </ul>
PROCESSO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercado estável</li> <li>• Mão-de-obra multifuncional (polivalente)</li> <li>• Requer alta qualidade no processo</li> <li>• Máquinas operatrizes simples e universais</li> <li>• Requer alta confiabilidade do equipamento</li> <li>• Máquinas para qualquer processo (usinagem, estamparia, montagem etc.)</li> <li>• Redução drástica dos <i>setups</i></li> <li>• Requer arranjo físico em fluxo unitário ou em grupo de peças</li> <li>• Pequenos lotes em movimentação</li> </ul>

Na Tabela 9.4 se resumem as características de controle no sistema JIT, ressaltando a flexibilidade do sistema baseado na importância da mão-de-obra, seu treinamento e conscientização, do planejamento de materiais, *layout* etc.

**Tabela 9.4.** Características de controle no sistema JIT

<b>CARACTERÍSTICAS DE CONTROLE</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• A flexibilidade é fator da organização</li><li>• Exige investimentos em rearranjo dos equipamentos</li><li>• Requer mão-de-obra intensiva</li><li>• Requer autocontrole por parte de mestres e operários</li><li>• Requer mudanças de comportamento da mão-de-obra</li><li>• Menor tempo para implementação e/ou implantação parcial</li><li>• Maior enriquecimento das tarefas</li><li>• Menor planejamento, programação e controle indireto da produção</li></ul>
------------------------------------	---

### 9.4.2 O JIT como ferramenta de controle em operações de serviço

O JIT pode ser considerado como uma “filosofia” de produção que emerge num tempo de crise. Com a crise mundial, a briga pela manutenção (ou ampliação) de mercados ganha contornos distintos, em que a diversificação é uma arma para o atendimento dos consumidores. Portanto, as empresas de produção em massa devem estar atentas ao mercado, contando para isso com uma estrutura de produção flexível, com vistas a atender variações da quantidade e responder rapidamente a pedidos ou mudanças no comportamento do mercado. O *just-in-time* não é uma solução rápida. É um sistema que tanto pode produzir resultados imediatos, quanto de longo prazo em todos os ambientes, e traz um enfoque moderno para a gerência pensar, recuperar e concentrar esforços na volta dos fundamentos em todas as atividades da empresa.

O JIT não tem um enfoque linear para a solução de problemas; é um enfoque circular sem local ideal para começar. Em termos de produção, *just-in-time* significa que, na montagem de um produto, as necessárias submontagens (subconjuntos) precedentes devem chegar na linha no momento necessário à montagem e na quantidade necessária. Dentro dessa lógica, procura-se produzir somente o que terá utilização imediata, com lotes tanto menores quanto possível. Expandindo o conceito no contexto empresarial é que se chegou ao “*kanban* externo”, com a matéria-prima também sendo recebida *just-in-time*. A idéia, portanto, é fazer circular o mais rápido possível o capital representado pelas matérias-primas e produtos em processo.

A filosofia de atendimento ao mercado dá aos departamentos de vendas o papel de detonadores do processo produtivo: só é produzido algo se for pedido por vendas. A idéia de produzir o “empurrar” para os revendedores ficaria, então, comprometida. Dentro da própria fábrica, o fluxo deve ser olhado do fim para o começo: a linha de montagem é que solicita aos departamentos precedentes que tipo de peça necessita com vistas a atender as vendas. Assim, a usinagem não “empurra” um lote de peças para a montagem, mas esta vai buscar as peças e determina à usinagem o que ela tem de fazer.

Quem retira as peças de um posto de trabalho (ou departamento produtivo) é o operador/departamento subsequente. Isso ocorre pelo simples fato de o subsequente sentir a necessidade das peças. Quem dá a ordem de produção a determinado posto/departamento é o operador subsequente. Se este leva dez peças de um posto, esse posto deve repor as dez peças, produzindo apenas o número de peças que foram retiradas.

A idéia é agir como um supermercado. Se dez pacotes de farinha são vendidos, devem ser repostos na prateleira mais dez pacotes.

### 9.4.3 O controle de produção segundo o sistema *kanban*

A técnica *kanban* foi desenvolvida “com o objetivo de tornar simples e rápidas as atividades de programação, controle e acompanhamento de sistemas de produção em lotes”.

Essa técnica surgiu pela observação da maneira como os supermercados gerenciam seus estoques na prateleira, como o repositor monitora a quantidade de itens nas prateleiras. Quando essa quantidade se reduz de um determinado nível definido, o repositor retira produtos do estoque e coloca-os na prateleira, até que esse processo ocorra novamente. Essa técnica é chamada de “puxada” pela ra-

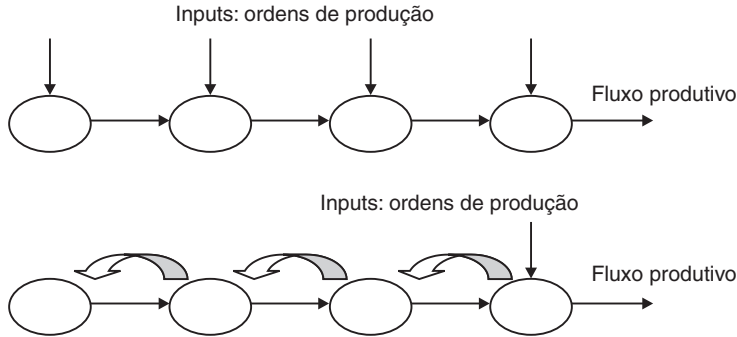


Figura 9.10. Dinâmica dos princípios de empurrar e puxar a produção.

ção de a produção ocorrer somente após a solicitação do cliente. Essa dinâmica é evidenciada pela Figura 9.10, que a compara com o princípio de empurrar a produção.

Enquanto, na produção empurrada, as ordens de fabricação são emitidas para cada posto de fabricação, na produção puxada, a ordem é emitida apenas no último posto, que ao buscar material no posto anterior o autoriza a fabricar um novo lote. A extensão desse procedimento para todos os postos de trabalho anteriores é o que comanda a produção.

O *kanban* age como disparador da produção de centros produtivos em estágios anteriores do processo produtivo, coordenando a produção de todos os itens de acordo com a demanda de produtos finais. Essa técnica utiliza sinais ou cartões de sinalização para comandar a produção e movimentação dos itens pela fábrica.

Esses cartões *kanban* são denominados *kanban* de produção e *kanban* de transporte. O *kanban* de produção autoriza o processo produtivo a iniciar a produção de um lote de determinado item. Ele contém várias informações para identificar o item, como a sua descrição, o tamanho do lote, os materiais necessários, entre outros.

KANBAN DE PRODUÇÃO	
Nº da Peça	347
Lote:	19 peças
Descrição	Eixo secundário P45
Célula Prod:	M-15

Figura 9.11. Exemplo de *kanban* de produção.

O *kanban* de transporte ou de movimentação “é usado para avisar o estágio anterior de que o material pode ser retirado do estoque e transferido para uma destinação específica”. Ele geralmente contém algumas informações do *kanban* de produção, como descrição do item e tamanho do lote, acrescido das informações do centro de produção de origem e centro de produção de destino.

KANBAN DE MOVIMENTAÇÃO	
Nº da Peça	347
Lote:	19 peças
Descrição	Eixo secundário P45
Célula Prod. Orig:	M-15
Célula Prod. destino:	M-45

Figura 9.12. Exemplo de *kanban* de movimentação.

Também há o *kanban* de fornecedor, que é similar ao *kanban* de movimentação, porém, utilizado para comunicar a fornecedores externos a necessidade de reposição de itens. As informações nele contidas são semelhantes às do *kanban* de movimentação, com a adição dos dados do fornecedor, horários e ciclos de entregas.

Há dois procedimentos que podem ser usados para comandar a utilização dos *kanbans*: o sistema de cartão único e o sistema de dois cartões.

O sistema de *kanban* único é próprio para empresas que tenham o *layout* contínuo, tendo os postos de fabricação lado a lado. Dessa forma, quando o estágio-cliente requer um novo lote, ele retira o material do estoque e deixa o *kanban* no estágio de produção fornecedor para informar qual componente foi requisitado. Ao perceber a presença do *kanban*, o estágio-fornecedor processa um lote igual ao que foi retirado pelo estágio-cliente.

Cabe aqui salientar que a técnica *kanban* objetiva a minimização de estoques, tanto em processo quanto em produtos finais. Porém, a técnica prevê a formação de estoques entre os processos, para haver resposta rápida ao cliente. Dessa forma, geralmente haverá estoques mínimos de produtos finais que, ao serem retirados pelos clientes, dão início ao processo. O estágio final retira o lote do seu estágio-fornecedor e o processa, propagando essa dinâmica em todo o sistema.

O sistema com dois cartões é empregado em processos nos quais o cliente está longe do fornecedor. O processo é basicamente o mesmo do outro sistema, porém, neste se faz presente o movimentador. Quando o operador retira material do estoque para processá-lo, ele deixa o *kanban* de movimentação. Periodicamente, o movimentador, ao visitar os estágios, recolhe os *kanbans* de movimentação e vai ao estágio fornecedor para retirar um novo lote daquele item.

Nesse processo, ele coloca o *kanban* de produção para autorizar a fabricação e leva o lote requerido para o estágio-cliente. O processo é contínuo, sendo o movimentador responsável por sua dinâmica. Apesar de ser idealizado para processos repetitivos em lotes, outros processos podem usufruir seus princípios, em partes do processo que tenham características de repetitividade. Esse mesmo autor lista algumas vantagens da adoção do *kanban* como técnica da programação da produção. Entre elas estão:

- permite a identificação imediata de problemas;
- reduz a necessidade de equipamentos e movimentação;
- dispensa a necessidade de inventários periódicos.

O *kanban*, apesar de eficiente, tem suas limitações. Os autores declaram que, devido ao fato de o *kanban* prever a manutenção de estoques (mesmo que sejam mínimos), se a variedade de produtos e componentes for grande, “o fluxo não será contínuo, e sim intermitente, gerando altos estoques em processo para cada item, principalmente considerando-se a demanda de cada um”. Pelo número muito pequeno de estoques, qualquer interrupção na produção se reflete na capacidade de resposta ao cliente, portanto, o sistema de produção deve se antecipar à ocorrência de interrupções, diminuindo-as ou excluindo-as.

Uma outra crítica comum ao *kanban* é que ele não suporta grandes variações na demanda. A afirmação é verdadeira, em ambientes turbulentos, a técnica *kanban* não é adequada. Contudo, verifica-se que todas as outras técnicas discutidas também não suportam grandes variações na demanda. O MRP e outras técnicas geradoras de estoque até podem reagir melhor em ambientes turbulentos, porém a instabilidade do ambiente é prejudicial a todos, comprometendo a sua atuação.

#### 9.4.4 O *kanban*: exercício prático

Em uma determinada fábrica de móveis de madeira, após reformulações em todo o processo de fabricação, a gerência de produção implementou um novo método produtivo, baseado em lotes pequenos, obtido com a ajuda do Kanban. A implantação do programa Kanban, com utilização de cartões, teve início na metade do segundo ano. Antes disso, a partir de janeiro do mesmo ano, foi iniciado um trabalho voltado a reduzir os níveis de estoques de materiais em processo. Conceitos bá-

sicos da metodologia 5S de limpeza e arrumação, máquinas em disponibilidade e qualidade, que já vinham sendo desenvolvidos antes mesmo do início da implantação, passaram a ser reforçados em seus pontos-chave. As principais funções da produção foram reforçadas para os itens particulares escolhidos a participar do sistema *Kanban*.

## ETAPAS PARA A IMPLANTAÇÃO DO KANBAN

### 1. Escolha dos itens

A linha escolhida para receber a implantação do *kanban* em sua montagem foi a de camas de madeira, pois apresenta características de alta atividade. Esta fábrica monta 25 camas por dia, sendo que as matérias-primas utilizadas são pranchas de madeira, que são cortadas e processadas na própria fábrica de acordo com os desenhos do projeto da cama e depois montadas.

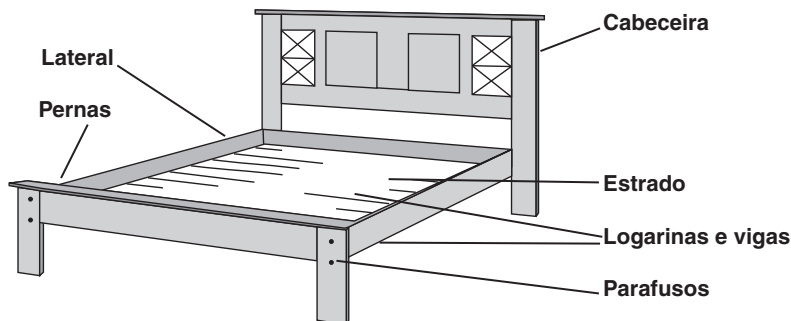
### 2. Determinação do fluxo de fabricação

A segunda etapa consistiu no levantamento do fluxo percorrido por cada item desde a operação inicial até a linha de montagem. A seguir, mostramos os diversos fluxos de fabricação por tipos de itens.

É interessante observar que o fluxo de algumas peças não termina na montagem, mas em operações intermediárias. Essa interrupção foi necessária porque alguns itens unitários se reúnem para formar subconjuntos e, como tais, mudam de código. Tal fato obrigou a criação de um fluxo, iniciado na primeira operação do subconjunto e concluído na linha de montagem. O exemplo mais característico é o das peças do estrado da cama. Essas peças percorrem três fluxos até chegarem à linha de montagem final. O primeiro, no corte de régulas de madeira para formar longarinas e vigas do estrado. O segundo, a montagem da estrutura do estrado, em que 10 longarinas de madeira são unidas por 3 vigas. Finalmente o último, em que o estrado é montado na estrutura da cama. O importante é que o sistema se engrene em cada fluxo, de modo que uma paralisação no consumo da montagem se estenda automaticamente às outras fases, interrompendo gradativamente a operação, até chegar ao início do processo.

1 – corte da madeira / 2 – submontagem da estrutura do estrado / 3 – montagem final / 4 – verniz/pintura

NOME DA PEÇA	ETAPAS DE MONTAGEM	FLUXO
Perna (4 peças)	Matéria-prima sofre corte e montagem final.	1-3
Cabeceira (2 peças)	Matéria-prima sofre corte e montagem final.	1-3
Lateral (2 peças)	Matéria-prima sofre corte e montagem final.	1-3
Longarinas do estrado (10 peças)	Matéria-prima sofre corte e integra componente	1-2
Vigas do estrado (3 peças)	Matéria-prima sofre corte e integra componente	1-2
Estrutura do estrado (1 peça)	Componente segue para montagem final	2-3
Pregos (30 unidades) e Parafusos (4 unidades)	Componente segue para montagem final	2-3
Cama	Produto final montado segue para pintura/vernizamento	3-4



### 3. Determinação do tipo e quantidade por *contêiner*.

*Contêineres* localizados ao longo da linha de montagem armazenam as peças a serem utilizadas na fabricação de 1 dia de produção. Para as longarinas do estrado, que sofrem submontagem, procurou-se estabelecer um lote representando a quantidade necessária para 1 dia de produção, ou múltiplo dela. A tabela a seguir mostra, por item, o tipo e a quantidade por recipiente.

PEÇA	QUANT. / PRODUTO FINAL	QUANT./CONTÊINER
Perna	4	100
Cabeceira	2	50
Lateral	2	50
Longarinas do estrado	10	50
Vigas do estrado	3	75
Pregos	30	750
Parafusos	4	100

### 4. Determinação das variáveis iniciais – $D_f$ – $D_e$ – $N$ e determinação do número de cartões $Y$ Deve ser realizada a partir da utilização da fórmula:

$$Y = \frac{N \cdot (D_f + D_e) \cdot (1 + \alpha)}{C}$$

Após preenchido o quadro a seguir com os valores de  $D_f$ ,  $D_e$ ,  $N$  e  $C$ , onde:

$Y$  = Número de cartões *kanban*

$N$  = Consumo diário na linha de montagem

$D_f$  = Tempo de fabricação (minutos)

$D_e$  = Tempo de espera para entrar na montagem final (minutos)

$\alpha$  = Fator de segurança

$C$  = Quantidade por *contêiner*

Na Toyota, o fator de segurança  $\alpha$  não ultrapassa 10% do tempo total de fabricação ( $D_f + D_e$ ). No nosso caso particular, pela falta de experiência em relação às possíveis vulnerabilidades do sistema, pode-se optar por valores em torno de 20%.

### 5. Pede-se:

a) Esboce o fluxograma das etapas de montagem das camas.

b) Determine o número de cartões *kanban* necessários para cada insumo. Veja o exemplo feito para o insumo viga do estrado.

NOME DA PEÇA	C	N	$D_f$	$D_e$	$\alpha$	Y
Perna	100	100	8	9		
Cabeceira	50	50	17	1		
Lateral	50	50	6	12		
Longarinas do estrado	50	250	3	20		
<b>Vigas do estrado</b>	75	75	3	20	0,1	26
Pregos	750	750	–	–	–	–
Parafusos	100	100	–	–	–	–

O número de cartões  $Y$  deve ser arredondado para um valor superior

## 6. Execução das facilidades

As principais facilidades para o início do funcionamento do sistema foram:

- Cartão *KANBAN*

		DESCRIÇÃO	
		VIGAS	
Nº do cartão	<b>CARTÃO DE PRODUÇÃO</b>	CÓDIGO	
5 ( 26 )		XB-2476	
CENTRO DE CUSTO			
1		2	3
QUANT/CONTAINER		LOTE FABRICAÇÃO	
75		1950	

Denominado cartão de produção, foi desenhado conforme esse modelo, contendo as seguintes informações:

Descrição: Nome da peça

Número do cartão: O primeiro é o número seqüencial do cartão. O número entre parênteses indica o total de cartões em circulação para o item em questão.

Centro de custo: os números colocados nas figuras indicam as seções onde se realizam as operações na peça, bem como a seqüência.

Quantidade/*Contêiner*: É a quantidade autorizada para produção pelo cartão.

Lote de fabricação: É o número máximo de peças que pode existir em processo, representando o produto da quantidade por *contêiner* pelo número de cartões.

### 9.5 O CONTROLE DE PRODUÇÃO NO *OPTIMIZED PRODUCTION TECHNOLOGY*

Esta abordagem é um método de gestão da produção desenvolvido nos Estados Unidos no final dos anos 70 por um grupo de pesquisadores do qual fazia parte o físico Eliyahu Goldratt, que acabou por ser o principal divulgador dos seus princípios. Este método baseia-se na gestão da empresa a partir dos seus gargalos de estrangulamento.

Outros conceitos e sistemas têm sido desenvolvidos, os quais reconhecem também a importância de se planejar levando em conta restrições de capacidade, em vez de sobrecarregar parte do sistema produtivo, não atendendo ao plano. Possivelmente, o mais conhecido é a Teoria das Restrições, a qual foi desenvolvida para focalizar a atenção na restrição de capacidade ou gargalo da produção. Através da identificação da localização da restrição e do esforço para removê-la, buscando então nova restrição, a produção está sempre se concentrando naquela parte que determina criticamente o ritmo de produção. A abordagem OPT, ou Tecnologia de Produção Otimizada, teve seu desenvolvimento e seu marketing através de um pacote de software desenvolvidos por Eliyahu Goldratt.

O OPT é uma técnica computadorizada que auxilia a programação de sistemas produtivos, ao ritmo ditado pelos recursos mais fortemente carregados, ou seja, os gargalos. Se a taxa de atividade em qualquer parte do sistema exceder àquela do gargalo, alguns itens estarão sendo produzidos sem que possam ser utilizados. Se a taxa de trabalho cai abaixo do ritmo no gargalo, todo o sistema é subutilizado.

Esse sistema possui duas características marcantes. A primeira é relativa a seu nome, que apesar de incluir a palavra *Optimized*, não garante a obtenção de soluções ótimas no sentido estrito da palavra, já que a técnica é baseada em uma série de procedimentos heurísticos. A segunda característica importante do OPT é que, ao contrário de MRP II e JIT, ele não caiu em domínio público, sendo ainda uma tecnologia proprietária, o que significa que seu uso requer o pagamento de royalties às empresas detentoras de suas patentes.



O OPT advoga que o objetivo básico das empresas é “ganhar dinheiro”. Considera portanto que a manufatura deve contribuir com esse objetivo básico através da atuação sobre três elementos:

- fluxo de produtos vendidos: a taxa segundo a qual o sistema gera dinheiro através da venda de seus produtos. Deve ser ressaltado que os produtos feitos mas não vendidos são classificados como estoque;
- estoque: quantificado pelo dinheiro que a empresa empregou nos bens que pretende vender. Refere-se apenas ao valor das matérias-primas, não incluindo o valor adicionado, que entra nas despesas operacionais;
- despesas operacionais: dinheiro que o sistema gasta para transformar estoque em fluxo.

Segundo a filosofia OPT, se uma empresa atingir simultaneamente os objetivos de aumentar o fluxo e reduzir os estoques e a despesa operacional, estará também melhorando seu desempenho nos objetivos de aumentar o lucro líquido, o retorno sobre o investimento e o fluxo de caixa.

A filosofia considera a existência de quatro áreas na manufatura: tipos de recursos, preparação de máquina, tamanho de lotes e efeitos da incerteza. Essas áreas são vistas a seguir.

Há determinados princípios por trás do OPT que demonstram seu foco nos gargalos:

1. Balanceie o fluxo, não a capacidade.
2. O nível de utilização de um não-gargalo é determinado por alguma outra restrição do sistema, não por sua própria capacidade.
3. Utilização e ativação de um recurso não são sinônimos.
4. Uma hora perdida num recurso gargalo é uma hora perdida para sempre em todo o sistema.
5. Uma hora poupada num recurso não-gargalo é uma *miragem*.
6. Os gargalos governam tanto a produção como os estoques do sistema.
7. O lote de transferência pode não ser, e muitas vezes não deveria ser, igual ao lote de processamento.
8. O lote de processamento deveria ser variável, não fixo.
9. Os *lead times* são resultados da programação e não podem ser determinados *a priori*.
10. Os programas devem ser estabelecidos olhando-se todas as restrições simultaneamente.

O OPT não deve ser visto como alternativa ao MRP. Entretanto, a base filosófica do OPT, descrita anteriormente, mostra que ele pode conflitar com a maneira pela qual muitas empresas utilizam seus sistemas MRP na prática. Enquanto o MRP, como um conceito, não prescreve *lead times* fixos ou tamanhos de lote fixos, muitas empresas, por simplicidade, utilizam o MRP fixando tais elementos. Entretanto, como a demanda, o suprimento e o processo de manufatura apresentam variações não-planejadas numa base dinâmica, os gargalos também são dinâmicos, modificando sua localização e sua severidade. Por essa razão, os *lead times* raramente são constantes ao longo do tempo. De forma similar, se os gargalos determinam a programação, os tamanhos de lote podem alterar-se ao longo da fábrica, dependendo do fato de um centro de trabalho ser um gargalo ou não. Esse método evidencia uma preocupação extrema na programação das atividades de modo a conseguir uma maximização do fluxo, ou seja, a passagem do material pelo processo produtivo.

### 9.5.1 O conceito tambor – pulmão – corda

O OPT utiliza a terminologia do “tambor, pulmão, corda” para explicar sua abordagem de planejamento e controle. Utilizando o OPT, o centro de trabalho gargalo transforma-se num “tambor”, batendo o ritmo para o restante da fábrica. Esse ritmo determina a programação de setores não-gargalo, puxando o trabalho na linha (a *corda*) de acordo com a capacidade do gargalo e não a capacidade do centro de trabalho. Nunca deveria ser permitido trabalhar um gargalo a menos do que a capacidade máxima; conseqüentemente, pulmões de estoque deveriam ser colocados antes do gargalo, de modo a garantir que ele nunca pare por falta de trabalho.

As etapas de processamento de uma ordem de produção, segundo os princípios do OPT, portanto, devem começar pela identificação de todos os recursos críticos que existem no processo de produção, como os que irão definir o ritmo e volume de produção do sistema (é nessa característica que surge a identidade de recursos críticos do sistema como tambores que impõem o ritmo). Assim, o primeiro passo será programar uma produção máxima para esses recursos de acordo com as necessidades existentes.

O segundo passo é tentar prever todos os acontecimentos relacionados com os equipamentos existentes ou com o fornecimento das matérias, que possam atrasar a produção, criando para o efeito depósitos de segurança. Consegue-se, assim, um fluxo contínuo de modo a não existirem paragens na linha de produção (os chamados pulmões).

Finalmente, há um circuito virtual (como uma corda sem pontas) constituído por um número fixo de elementos (unidades em produção) de modo que, sempre que saia uma unidade do depósito, se inicie a produção de outra, garantindo, assim, a produção contínua e, conseqüentemente, mantendo o estoque dessa matéria com o mesmo valor no depósito de segurança.

São estes os três pontos principais para definir a técnica usada pelo método OPT para programar as atividades de produção: tambor-pulmão-corda. Alguns dos argumentos em prol da utilização do OPT em ambientes MRP são que ele auxilia a focalização nas restrições críticas, além de reduzir a necessidade de planejamento muito detalhado nos setores não-gargalo, reduzindo assim o tempo de processamento no MRP.

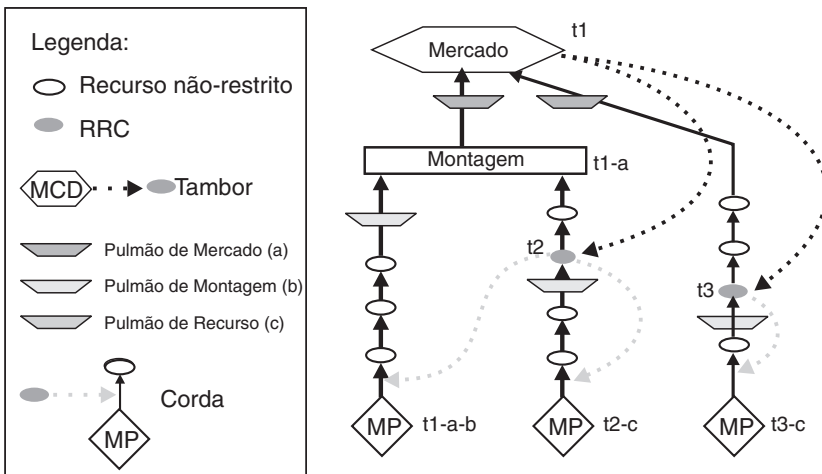


Figura 9.13. Estrutura lógica de funcionamento do sistema tambor-pulmão-corda.

### 9.5.2 Técnica do OPT

A técnica do OPT leva em conta as restrições de capacidade dos recursos, porque são estes que definem a capacidade máxima de produção da empresa. O princípio operativo que comanda o OPT é o misto, ou seja, puxa/empurra. A programação, feita em função da capacidade do gargalo, é realizada deste para trás e também deste para frente. A idéia básica é fazer com que o recurso gargalo opere em sua capacidade máxima. Para tanto, “é importante manter sempre um nível de estoque de segurança no ponto de gargalo, e o princípio de produção puxada é o mais adequado”. Dessa forma, há a garantia de que o recurso gargalo esteja sempre em funcionamento (desconsiderando a manutenção) e, conseqüentemente, o sistema opere em sua capacidade máxima.

A partir daí, nos estágios pós-gargalo, o modo empurrado é o mais indicado para possibilitar que o produto esteja disponível o quanto antes no ponto de consumo.

O OPT é uma técnica suportada por um software cuja metodologia não é contemplada na literatura e muito pouco divulgada e há poucos relatos de implantações da técnica.

À luz das informações disponíveis, o OPT é um princípio adequado a situações em que não se pretende ter preocupações imediatas com aperfeiçoamento da linha ou há instabilidade no *mix* de produtos e complexidade no processo. É um princípio aplicável também a situações em que se tem uma linha de montagem principal (que pode ser entendida como gargalo) e outras linhas abastecedoras (secundárias).

### Vantagens

O OPT, além de auxiliar as empresas na redução dos seus *lead-times* (cerca de 30%) e dos estoques (cerca de 40% a 75%), também facilita a flexibilidade do sistema produtivo para alterar o seu *mix* de produção.

O OPT considera os recursos-gargalo como merecedores de especial atenção, porque são desses recursos que depende a produção da empresa. É nessa perspectiva que o OPT auxilia a empresa a focalizar as suas atenções nos problemas que possam comprometer o desempenho dos recursos-gargalo.

Os resultados da implementação do OPT fazem-se notar rapidamente, pois o esforço de implementação é menor devido à focalização da atenção em poucos pontos considerados críticos. O método pode ser usado como um simulador da fábrica. Perguntas do tipo “O que aconteceria se...” podem ser respondidas com mais segurança com o auxílio de uma ferramenta de simulação.

### Limitações

O OPT é um sistema que centraliza a tomada de decisões. Não permite a descentralização das decisões operacionais para o chão da fábrica, o que pode dificultar um maior comprometimento da força de trabalho com os objetivos da empresa.

O OPT, como um novo método que é, vai implicar sempre mudanças. Pode levantar resistências à sua adoção por parte de pessoas mais resistentes à mudança.

Entre as limitações do sistema está a dificuldade de determinação do gargalo, porque “muitas vezes a dinâmica do processo de produção torna o gargalo móvel”, o que certamente dificulta a sua aplicação. Muitos fatores podem ainda contribuir para mascarar gargalos verdadeiros, como lotes excessivos, práticas tradicionais na produção, entre outros. Se o gargalo for erradamente identificado, o desempenho do sistema fica comprometido.

Outra limitação refere-se ao alto custo de sua implantação, pois, além de ser um software normalmente caro, o fato de a tecnologia ser de conhecimento de poucas pessoas encarece ainda mais a implantação, e por se tratar de um software que exige atualizações e manutenção, a empresa cria uma dependência com o seu fornecedor ao adotá-lo.

A partir daí, verifica-se que a aplicação do software OPT em pequenas empresas torna-se muito difícil, pois, além das dificuldades financeiras que essas empresas enfrentam, existe a barreira tecnológica como mais um agravante. Todavia, a aplicação do princípio básico da técnica, que é a identificação de gargalos no processo, pode auxiliar muito as empresas a entenderem melhor o seu processo e produzir no máximo de sua capacidade, se necessário.

## 9.6 CONTROLE DE PROJETOS

### 9.6.1 Introdução

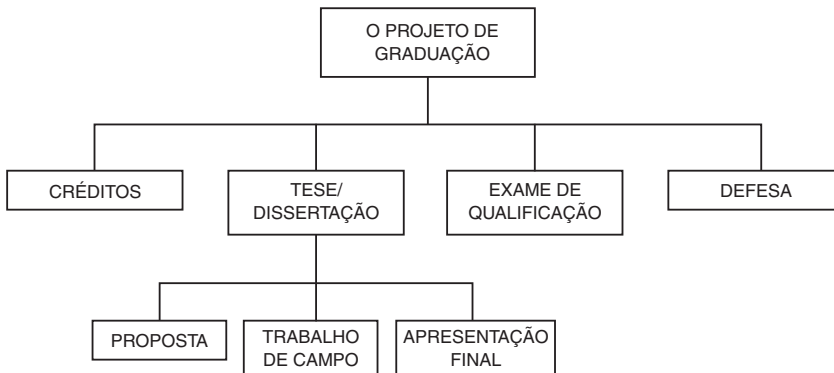
Diversas ferramentas são utilizadas na atividade de controle de grandes projetos e empreendimentos. As mais utilizadas são a EAP, o gráfico de Gantt, o PERT/CPM, a linha de balanço, a curva “S” e estimativa de custo. Nos tópicos seguintes mostraremos duas delas e seu modo de aplicação.

### 9.6.2 Estrutura analítica do projeto

A Estrutura Analítica do Projeto (EAP), também conhecida com *Work Breakdown Structure* (WBS), explicita todas as partes que compõem um projeto. Dessa forma, é possível conhecer detalhadamente as atividades que compõem o empreendimento, mostrando seu escopo no nível de tarefas específicas. Esse nível de detalhamento permite controlar a evolução das tarefas em termos de execução física, execução financeira e de atendimento às especificações técnicas.

A Figura 9.14 mostra o exemplo de uma EAP básica de um projeto de formatura para um aluno de mestrado, evidenciando a hierarquia das partes ou subprocessos.

**Estrutura Analítica de um Projeto Final de Graduação**



**Figura 9.14.** Exemplo de uma WBS para um projeto de pós-graduação.

A Tabela 9.5 mostra o exemplo de uma EAP básica de um projeto de construção de uma instalação de bombeamento de petróleo e gás.

**Tabela 9.5.** Construção e montagem de empreendimento de petróleo e gás natural: estrutura analítica do projeto

1	Topografia e sondagem
2	Terraplenagem do solo
3	Fundações
4	Concretagem
5	Construção das bases dos equipamentos
6	Instalação de <i>pipe rack</i> e estrutura metálica
7	Lançamento de tubulações e soldagem
8	Instalação e montagem de equipamentos na base e acessórios
9	Acoplamento de tubulações e equipamentos
10	Instalação de instrumentos/ linhas de ar e impulso
11	Jateamento e pintura
12	Testes de funcionalidade e estanqueidade
13	Testes de operação
14	Pintura final e revestimento
15	Certificação final

Essa ferramenta vem com a documentação de produto, que ajuda a facilitar o entendimento de como a estrutura e hierarquia das partes do produto devem ser montadas. Assim, ao mesmo tempo, facilita o processo de montagem. Essa ferramenta vem junto com a Ordem de Produção.

### 9.6.3 A curva “S”

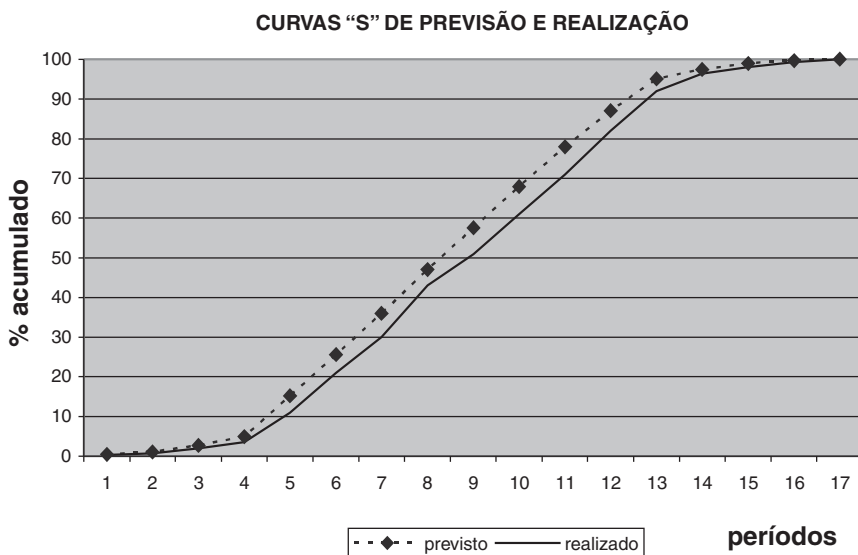
A curva “S” é uma ferramenta de planejamento, programação e controle que merece destaque pelo seu emprego nas fases de engenharia, suprimento e construção civil ou naval. Essa representação gráfica, a qual agrega cumulativamente as parcelas dos períodos anteriores, ou seja, o valor da mesma (percentual) no final de determinado período, é o somatório do percentual do período em vigor com os percentuais dos períodos anteriores. Portanto, no final do último período, tem-se o percentual de 100%, conforme mostrado na Figura 9.15. A curva “S” permite a modelagem da alocação dos recursos e visualização do progresso de um projeto em relação ao tempo.

Como ferramenta de controle, pode-se, após plotar a curva esperada (na Figura 9.15 é a curva tracejada), usar a comparação entre a evolução planejada para o projeto e o progresso real ocorrido (na Figura 9.15 é a curva cheia). Identificamos, na Figura 9.15, que a curva tem um início de crescimento lento, uma fase intermediária com crescimento elevado, retornando a um crescimento lento no trecho final.

Na maioria dos projetos que usam essa curva como ferramenta de acompanhamento e controle, relaciona-se o trecho inicial às atividades de projeto de engenharia e processamento de compras, em que é utilizado um grande volume de pessoal qualificado. Quanto ao trecho final, a correlação é com a colocação em operação das instalações (nesta fase existe um grande contingente de pessoal qualificado). A curva “S” é usada para controle de prazo e custo em empreendimentos através de indicadores de avanço físico e financeiro da fase de implantação do empreendimento, podendo ser concebida a partir de várias hipóteses de distribuição de recursos, os quais serão consumidos durante o prazo do empreendimento.

A curva obtida no processo de planejamento do empreendimento deve aproximar-se da curva “S” teórica, pois significa a situação otimizada. A curva do empreendimento é obtida por tentativas, adequando-se os tempos e a duração das atividades que compõem os itens da estrutura analítica do projeto (EAP).

O objetivo deste livro não envolve a comparação de vantagens e desvantagens da curva “S” exponencial com eixos auxiliares *versus* a normal, e sim o uso da curva “S” na obtenção de indicadores globais de prazo e custo.



**Figura 9.15.** A curva “S” de um empreendimento é uma ferramenta importante, que mostra como ele deve evoluir ao longo do tempo para que os objetivos finais sejam alcançados dentro do prazo e/ou custo.

## 9.7 O CONTROLE NUMÉRICO E A PRODUÇÃO AUTOMATIZADA – FMS E SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA

### 9.7.1 Introdução

O controle numérico trouxe uma revolução total à indústria de máquinas-ferramenta e aos processos de fabricação. A introdução do Controle Numérico por Computador (CNC) e dos computadores na esfera da fabricação mecânica tem sido um processo relativamente lento e gradual, tendo passado pelas fases de CNC, Controle Numérico Direto (DNC), Sistema Flexível de Manufatura (FMS) e Fábrica Automática, ou CIM.

Essa evolução correspondeu a níveis diferentes da automação, vejamos: o CNC foi a automação de uma fase do processo; o DNC correspondeu à coordenação de mais de uma fase; o FMS é a automação de todas as fases do processo; a fábrica automática é a automação de todos os processos ligados à fabricação.

A convergência desses recursos tecnológicos foi possível pelo desenvolvimento dos microcomputadores, placas, chips, software etc., trazendo para a indústria a possibilidade de gerenciar, de forma otimizada, todos os seus processos de fabricação e de dispor de maior flexibilidade na produção. Junto com essas vantagens, chegou-se à diminuição dos estoques de material e peças, diminuindo o capital de giro alocado. E tudo isso permitiu aumentar o nível de qualidade do produto, além de reduzir seu custo.

A inclusão, no sistema de fabricação, subordinado a um sistema central de controle, dos sistemas de transporte e manipulação das peças, das ferramentas e dos meios auxiliares de produção (dispositivos, placas, guias, suportes etc.), bem como de sistemas de medição, controle de qualidade, lavagem, tratamento térmico etc., constitui o chamado Sistema Integrado de Fabricação Automática. Ele é constituído de múltiplas estações e pode ser dos seguintes tipos:

- automação dura (*Transfer line*): o transporte das peças se faz sobre paletes, cuja linha de movimentação passa por dentro da área de trabalho de cada estação, simplificando o sistema, mas exigindo que os tempos de usinagem nas diversas estações sejam compatibilizados. Foi bastante usado na produção em massa;
- automação flexível: o transporte de peças é feito por manipuladores (robôs industriais) ou então sobre paletes, cuja linha principal de movimentação passa por fora de cada estação. Dessa forma, os tempos de usinagem de cada estação são autônomos, permitindo ainda a usinagem simultânea de peças diferentes. Essas peças podem seguir caminhos diversos, deixando, inclusive, de usar certas estações do sistema de fabricação.

Os principais setores usuários de máquinas-ferramenta pertencem ao complexo metal-mecânico, com destaque para as indústrias automobilística, mecânica, material de transporte, elétrica e eletrônica e de equipamentos de precisão.

Em meados do século XX, a automação flexível chegou à produção em lotes e de pequenas séries, pela invenção e difusão do Controle Numérico (CN). Isso provocou transformações qualitativas no processo de produção e também mudanças radicais na base técnica (eletromecânica) do sistema produtivo, que foram aceleradas pela invasão da microeletrônica. Assim, os modelos de comando manual cederam espaço para as máquinas de comando eletrônico, que combinam a mecânica com a eletrônica (“mecatrônica”).

Uma pesquisa realizada pelo Departamento de Trabalho dos Estados Unidos (1965) constatou que 75% de toda a produção mecânica (metais usinados) desse país constavam de lotes com menos de 50 peças. Em 1969, estimou-se que, na década de 1970, aproximadamente 75% de toda a produção mundial de peças seriam na base de lotes pequenos (menos de 50 peças). Nessa pesquisa revelou-se também que aproximadamente 50% do volume de dólares de toda a manufatura está concentrado na indústria metalúrgica, e que aproximadamente 2/3 do trabalho com os metais é referente a

usinagem. Nessas mesmas indústrias, do tempo total de produção,<sup>5</sup> apenas 1,5% do tempo é empregado na remoção do material, e 98,5% do tempo é empregado em atividades não-produtivas (95% são gastos com movimentação de material e espera nas máquinas; e ainda, dos 5%, somente cerca de 30% são gastos realmente com a usinagem do material).

### 9.7.2 Fabricação por controle numérico

Até a primeira metade do século XX, houve o lento e progressivo aperfeiçoamento das máquinas-ferramenta e melhorias dos processos de organização do trabalho. A necessidade de crescentes volumes de produção levou ao desenvolvimento do torno revólver, permitindo a troca rápida de ferramentas, dos tornos automáticos mono e multifusos, com seqüência automática de operações e posicionamento relativo peça-ferramenta comando por *comes*, das linhas de usinagem tipo *transfer* da indústria automobilística, englobando a automatização da usinagem e do transporte.

A necessidade da alta percepção levou ao desenvolvimento de máquinas CN para fins gerais. A primeira máquina de controle numérico (fresadora) foi desenvolvida em 1952 no Servomechanisms Laboratory do M.I.T., usando idéias de John Parsons em 1948. As primeiras máquinas de comando numérico eram controladas por uma fita de papel. Cada operação levava um tempo específico. Entretanto, quando era necessária uma nova ferramenta, precisava-se parar a produção para preparar a máquina. Cada ferramenta era trocada manualmente e tinha de ser ajustada tanto em direção como em ângulo. Também a preparação podia incluir a fixação da peça para que a próxima operação fosse executada numa seção diferente da peça. Além disso, podia ser necessário o movimento ou uma troca manual da peça.

Com a idéia de eliminar o tempo de preparação (*setup*) e seu custo numa máquina operatriz, a Ford Motor Company desenvolveu, em 1948, o conceito da troca automática de ferramenta. Quando necessário, uma ferramenta particular podia ser retirada automaticamente de um magazine e inserida no mandril durante seu uso. Contudo, somente após 10 anos é que Kearney Trecker construiu a primeira máquina de CN com a troca automática de ferramenta.

O primeiro sistema integrado com várias máquinas CN foi desenvolvido em 1967 pela Sundstrand Aviation-Division da Sundstrand Corporation (agora White-Sundstrand), de acordo com Perry, e construído em 1968 pela Sundstrand para a Fairfield Manufacturing Company, em Lafayette, conforme Feinberg. Embora a movimentação das peças de máquina para máquina não fosse automatizada, o computador substituía a fita perfurada no controle de todas as operações de usinagem das máquinas operatrizes (baseado em Gutierrez).

Paralelamente, a Cincinnati Milacron Company lançou o conceito do sistema de manufatura denominado “missão variável”. Inicialmente, esses dois sistemas de CN eram controlados digitalmente por fitas perfuradas, mas o sistema de “missão variável” construído por volta de 1970, já era controlado por computador (CNC) e difundiu-se nessa década.

A necessidade de execução de fitas de comando com todos os detalhes geométricos da peça e da tecnologia de fabricação trouxeram uma sobrecarga ao setor de preparação do trabalho, obrigando-o ao desenvolvimento do CAD, CAD/CAM etc.

Paralelamente, surgiu o conceito de Tecnologia de Grupo com a filosofia de reunir as máquinas por famílias de peças, procurando agrupar diferentes tipos de máquinas para minimizar o tempo gasto com a movimentação de material.

O primeiro DNC integrado a um sistema de manufatura, incluindo os meios de movimentação e estocagem de material, foi construído na então Alemanha Ocidental e demonstrado na 1971 *Leipzig Spring Fair* (Lardner [12]). Ao mesmo tempo, o centro de usinagem pesada da Ingersoll-Rand, con-

<sup>5</sup> Entende-se como tempo total de produção o tempo gasto desde a emissão da Ordem de Fabricação do componente até sua entrega no armazém de produtos acabados.

sistindo em seis máquinas operatrizes interfaceadas com um transportador de distribuição de peças, foi instalado pela Sundstrand em Roanoke (Estados Unidos).

Esse esforço de desenvolver novas tecnologias para automação dos equipamentos industriais trouxe, desde 1820, um aumento de 10 vezes na produtividade industrial, o que efetivamente trouxe benefícios quanto ao aspecto econômico da fabricação. As máquinas de controle numérico aumentaram significativamente a produtividade na fabricação de pequenos lotes.

O volume dos produtos metálicos fabricados varia de uma unidade até milhares por pedido. O modo de produção depende muito do volume: se for um lote de fabricação pequeno, médio ou grande ou se é uma produção seriada.

Para a produção individual, as máquinas de CNC simples, com sua grande versatilidade e conhecidas como centros de usinagem, foram de bastante sucesso para a automação. De outro lado, o FMS tornou-se a aplicação da Tecnologia de Grupo utilizando-se máquinas CNC, robôs e sistemas automatizados de transporte. Tais sistemas integrados de manufatura de lotes controlados por computador têm sido chamados de Sistemas Flexíveis de Manufatura Computadorizados (SFMC) e Sistemas de Manufatura de Missão Variável (SMMV).

Nos sistemas integrados de fabricação, além da automação e do controle de cada máquina individual, procura-se automatizar e controlar por computador instalações complexas compostas de encadeamento ordenado e organizado de várias máquinas individuais. Isso leva, ao lado da usinagem automatizada da peça, à análise das funções técnicas complementares de manejo, transporte, medição, controle de qualidade, lavagem, tratamento térmico, estocagem e montagem. Para isso, os dados de controle do computador de processos devem ser fornecidos como instruções perfeitamente coordenadas e seqüenciadas. Por outro lado, o desenrolar do processo deve ser constantemente acompanhado, através de informações ou sensores automáticos. Finalmente, há a necessidade, ainda, de um sistema de comunicação entre os operadores e o sistema e entre o sistema e o meio externo (administração geral, consumidores etc.).

Conforme Stokes (*apud* Moura[6]), no caso de lotes grandes de peças, os fluxos de material e de informação permanecem constantes por períodos de tempo mais longos. No caso de lotes pequenos, os fluxos de informação e material mudam mais rapidamente. Os elementos de interligação devem ser mais flexíveis, o que significa geralmente que devem também ser mais inteligentes. Isso permite concluir que a automação de processos de fabricação em massa (automação dura) foi mais simples, comparativamente com a de lotes menores.

Os esforços iniciais de aumento de produtividade concentram-se na redução dos tempos principais, isto é, naqueles tempos em que a ferramenta está em ação efetiva, arrancando cavacos e produzindo resultados concretos na mudança de forma de peça bruta. Esses esforços conduzem ao desenvolvimento de novos materiais para ferramentas (por exemplo, diamantes, cerâmicas etc.) permitindo consideráveis aumentos de velocidades e, conseqüentemente, redução dos tempos principais. Aumentos adicionais de produtividade são possíveis com a redução dos tempos de preparação, bem como dos tempos secundários. O advento do CNC propiciou economia nos tempos de fabricação.

### 9.7.3 FMS: conceitos e definições

Existem muitas definições atualmente em uso e várias tendendo a convergir. O sistema de manufatura flexível (FMS) é um complexo integrado e controlado por computador composto de máquinas-ferramenta controladas numericamente, de material automatizado e dispositivos de manipulação de material, além de equipamentos automatizados para testar e medir. Com um mínimo de intervenção manual e tempos curtos de trocas e preparação, podem processar qualquer produto que pertença a certas famílias específicas de produtos com sua capacidade estabelecida e para um programa predeterminado.

Gutierrez [29] menciona também as seguintes categorias de manufatura flexível:



- FMU (*Flexible Manufacture Unity*/Unidade de manufatura flexível), que é um sistema de uma máquina, usualmente um centro de usinagem ou um centro de revolução, equipado com um *magazine* multipaleta, um trocador automático de paleta ou robô e um dispositivo automático trocador de ferramentas. A unidade é capaz de operar parcialmente sem assistência;
- FMC (Célula de manufatura flexível), que compreende duas ou mais máquinas, em geral, pelo menos um centro de usinagem ou um centro de revolução, *magazines* multipaleta e trocadores de paletes automáticos e de ferramentas para cada máquina. Todas as máquinas, bem como as operações carregadas pela célula, são controladas por um computador DNC;
- FMS (Sistema de manufatura flexível), que é composto de dois ou mais FMC conectados por um sistema de transporte automático (veículos guiados automaticamente, guindastes controlados por computador etc.), os quais movem paletes, peças em trabalho e ferramentas entre máquinas, ou para e armazenamento. O sistema inteiro está sob o controle de um computador DNC que é usualmente conectado a um console do computador principal.

Os sistemas ou células de manufatura flexível podem ser projetados para vários diferentes tipos de processos de manufatura: corte de metais, conformação de metais, montagem, soldagem etc. Com respeito à configuração de máquina, as definições mencionadas estão relacionadas principalmente a operações de usinagem, o que é a maior aplicação de FMS e também o principal objeto da pesquisa no presente estudo.

Quanto a um FMS completo aplicado à usinagem, este pode ser:

- um sistema de produção automatizado para a manufatura de volume médio e uma variedade média de produtos (ou componentes) com mínimos tempos de preparação;
- um sistema de usinagem consistindo em várias máquinas CNC (das quais ao menos uma é usualmente um centro de máquina ou um centro de revolução) integrado com a peça em trabalho automatizada e os sistemas de manipulação e transferência de ferramentas;
- todos os subsistemas mencionados são controlados por um computador central que carrega os programas CNC para as máquinas-ferramenta individuais, controla o fluxo de peças em trabalho e gera relatórios de desempenho;
- um sistema em que, entre outros, as funções seguintes são carregadas automaticamente: programação (escalonamento), seleção dos programas-parte, detecção de anormalidades no corte, detecção de quebra nas ferramentas, compensação do uso das ferramentas, função de retrain a paleta, medição automática e as funções de autodiagnóstico.

**FMS (Sistemas de Manufatura Flexível):** United States National Bureau of Standards:

Um arranjo de máquinas (usualmente centros de usinagem de CN com trocadores de ferramentas) interconectados por um sistema de transporte. O carro transportador trabalha para as máquinas sobre paletes ou outras unidades de interface tal que o registro da máquina em trabalho seja preciso, rápido e automático. O computador central controla sistemas de máquinas e transporte. Os sistemas de manufatura flexível algumas vezes processam várias diferentes peças em trabalho em qualquer tempo [20].

### 9.7.3.1 Outros controles sistêmicos

**DNC (Controle numérico direto).** De acordo com a ISO Standard 2806-1980:

Um sistema DNC é um sistema conectado a uma série de máquinas controladas numericamente por uma memória comum armazenando um programa-parte ou um programa-máquina com provisão para uma distribuição de demanda de dados para as máquinas. O termo DNC foi originalmente introduzido para descrever um sistema no qual duas ou mais máquinas CNC são controladas por um sistema controlador comum (computador). Isso é agora mais freqüentemente usado para descrever sistemas no qual programas completos são armazenados centralmente e carregados dentro dos controladores de máquinas individuais quando requeridos.

**CAD (Projeto assistido por computador).** “Um sistema de CAD é um sistema que incorpora um ou mais computadores para carregar alguns dos cálculos e ações envolvidas no processo de projeto” (CECIMO *Working Party on Standardisation*).

**CAM (Manufatura assistida por computador).**

Um sistema CAM é um sistema que incorpora um ou mais computadores para carregar algumas das tarefas envolvidas na manufatura do produto. Quando a usinagem está envolvida, um sistema CAM usualmente envolverá máquinas-ferramenta CNC e os meios para produzir programas-parte para eles, e isso também poderia envolver um computador central para escalonamento, planejamento e controle da operação do sistema, além de usar um sistema DNC qualquer ou o computador central ou um computador separado, bem como um controle de computador de armazenamentos, ordens etc. (CECIMO *Working Party on Standardisation*).

**CAD/CAM.**

Um sistema CAD/CAM é um sistema no qual os computadores são usados para carregar algumas das tarefas envolvidas no projeto e a manufatura de um produto. Em particular, os computadores são frequentemente usados para produzir programas-parte para as máquinas CNC no sistema diretamente desde os dados do projeto (CECIMO *Working Party on Standardisation*).

**CIMS (Sistema de manufatura integrado por computador).**

Um sistema com realimentação de círculo fechado no qual as primeiras entradas são os requerimentos de produtos (necessidades) e conceitos de produtos (criatividade) e as primeiras saídas do sistema são os produtos terminados (totalmente montados, inspecionados e prontos para uso). Este compreende uma combinação de software e hardware, os elementos nos quais se incluem o projeto do produto (para produção), planejamento da produção (programação), controle da produção (realimentação, supervisão e otimização adaptativa), equipamento de produção (incluindo MF), além de processos de produção (remoção, formação e consolidação). Tem o potencial de ser totalmente automatizado por meio da automação versátil e de ser feito totalmente auto-otimizada (otimização adaptativa); os maiores recursos no presente para acompanhar estes são as tecnologias relacionadas ao computador.

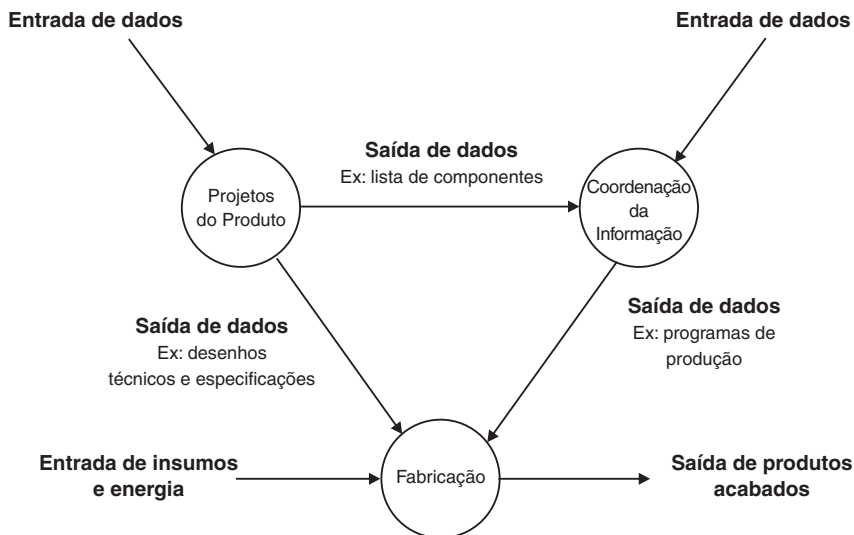
#### **9.7.4 Critérios de flexibilidade em FMS**

A flexibilidade alcançada através da automação é a principal característica do FMS. A flexibilidade nesse contexto é usualmente pensada como a facilidade com que o sistema pode ser reconfigurado e colocado em funcionamento para processar uma variedade de parte. Mas esse é somente um critério de flexibilidade, referida como flexibilidade do produto. Quando se avaliam FMS, existem vários outros critérios de flexibilidade importantes. Esses critérios, dos quais vários são interdependentes, são brevemente discutidos aqui.

**Flexibilidade de Máquina.** A facilidade com a qual as máquinas no sistema podem ser reconfiguradas e recolocadas em funcionamento, com respeito a ferramentas, fixadores, posicionamento, programas CNC etc., para processar partes em uma dada família de partes.

**Flexibilidade de Processo.** A habilidade para produzir uma determinada série de tipos de parte, cada uma utilizando possivelmente diferentes materiais, em diversas formas.

**Flexibilidade de Produto.** A habilidade para permutar e produzir novos produtos de forma econômica e rápida.



**Figura 9.16.** Os processos de um sistema produtivo.

**Flexibilidade de Roteamento.** A habilidade do sistema para continuar a operar através do roteamento alternativo de peças em trabalho, no caso, por exemplo, de quebras ou panes em algumas partes. Isso também implica que as funções de máquinas que quebraram podem ser retomadas por outras máquinas.

**Flexibilidade de Volume.** A habilidade de operar um FMS com lucro em diferentes volumes de produção.

**Flexibilidade de Expansão.** A capacidade de construir um sistema e expandi-lo de acordo com as necessidades, facilidades e modularidade.

**Flexibilidade de Operação.** A habilidade para intercambiar a ordem de várias operações para cada tipo de parte.

**Flexibilidade de Produção.** O universo dos tipos de partes que o FMS pode produzir.

Além desses critérios de flexibilidade no controle são usados também:

- **FMS Seqüencial.** Um sistema que processa um lote por vez e é rapidamente reconfigurado e re-colocado para funcionamento de novos lotes;
- **FMS Aleatório.** Um sistema no qual os vários tipos de partes estão projetados para serem processados em ordem aleatória. O sistema pode simultaneamente processar duas ou mais diferentes partes;
- **FMS Dedicado.** Um sistema que é projetado para um número mais limitado de partes, mas não tão rígido como uma *transfer-line*.
- **FMS Customizado.** Um sistema projetado e instalado por um vendedor de FMS de acordo com as especificações do usuário;
- **FMS Modular.** Uma célula de manufatura flexível que tem sido expandida na base do passo-a-passo dentro de um FMS, usando mais ou menos equipamentos padronizados por vários vendedores.

### 9.7.5 Descrição dos FMS

O FMS consiste em hardwares, tais como máquinas de CNC, dispositivos de transferência de peças, armazéns, computadores etc., e um conjunto de softwares, incluindo os de controle do sistema. Requer também um sistema de movimentação de material flexível que permita aos materiais seguirem movimentos entre qualquer par de máquinas, para que a seqüência de trabalho possa ser executada e automatizada, sabendo quando as operações estão prontas para serem movidas, onde o material será entregue e também o que fazer se não existir espaço suficiente para o material no seu destino.

Os computadores em rede executam algumas ou quase todas as seguintes tarefas:

- 1) direcionar a rota dos serviços através do sistema e manter a posição de todos os serviços em progresso, a fim de que se saiba para onde cada serviço seguirá depois;
- 2) passar as instruções para o processamento de cada operação a cada estação e garantir que as ferramentas certas estejam disponíveis para o serviço;
- 3) fornecer a instrução essencial do correto desempenho das operações e indicar os problemas que exigem atenção, como:
  - estocagem do material em processo, tanto nas máquinas, como centralizada;
  - e, naturalmente, as operações a serem processadas pelo sistema; em muitos sistemas de máquinas, os materiais são montados sobre paletes ou dispositivos, sendo esses últimos de número limitado. Isso introduz uma restrição quanto ao número de peças que podem existir num FMS simultaneamente.

### 9.7.6 FMS e a fabricação convencional

O controle por computador é a primeira diferença entre o FMS e um sistema de fabricação convencional. Num FMS, tanto a movimentação de material quanto a troca de ferramenta são controlados por computador, que dirige também o fluxo de material, fornece as instruções para o processamento de cada operação para a máquina operatriz apropriada e controla as condições de operação na usinagem.

A consequência da troca automática de ferramenta é o pequeno tempo de preparação de máquina e o custo de preparação de um FMS, permitindo um menor inventário em processo do que aquele de um sistema de fabricação convencional. Em algumas operações com fluxo departamental (*job-shop*), cada operação é executada em lotes que contêm peças de um tipo particular. Cada lote se move de máquina para o processamento. O número potencialmente grande de peças em cada lote ocasiona elevados estoques em processos. Por esse motivo, as peças são freqüentemente fabricadas para manter um nível de estoque. Em contraste, um FMS processa os tipos de peças necessários em lotes de tamanho tão pequeno quanto a demanda.

O FMS é apropriado para situações de médios volumes e média variedade de produção. Como tal, parece fornecer soluções para os problemas de fabricação de lotes variando de 100 a 10.000 unidades por ano, como mostra a Figura 9.16. Na verdade, nessas empresas não é muito apropriado nem o uso de linhas de *transfer* nem de máquinas operatrizes convencionais. Usando maquinários apropriados, tais como linhas de transferência (melhor adaptáveis à produção em massa de uma peça específica com um grande volume anual, de talvez 10.000 unidades ou mais), a flexibilidade é limitada, enquanto, com equipamentos convencionais (mais bem adaptáveis aos pedidos ou lotes de produção muito pequenos de alguns produtos diferentes, cada um com baixos volumes anuais, de talvez 100 unidades ou menos), os custos unitários são mais altos.

O FMS é uma alternativa que se situa entre os dois extremos, isto é, propicia maior flexibilidade do que as linhas *transfer* e com custos unitários inferiores aos das máquinas operatrizes convencionais.

Atualmente, as indústrias com processos contínuos estão dotadas de controladores automáticos, sendo todas as informações operacionais monitoradas e disponíveis ao operador em uma sala de controle, ficando o sistema de computação e controle encarregado também de buscar o balanço operacional adequado, fornecendo avisos ao operador apenas quando surgem situações imprevistas.

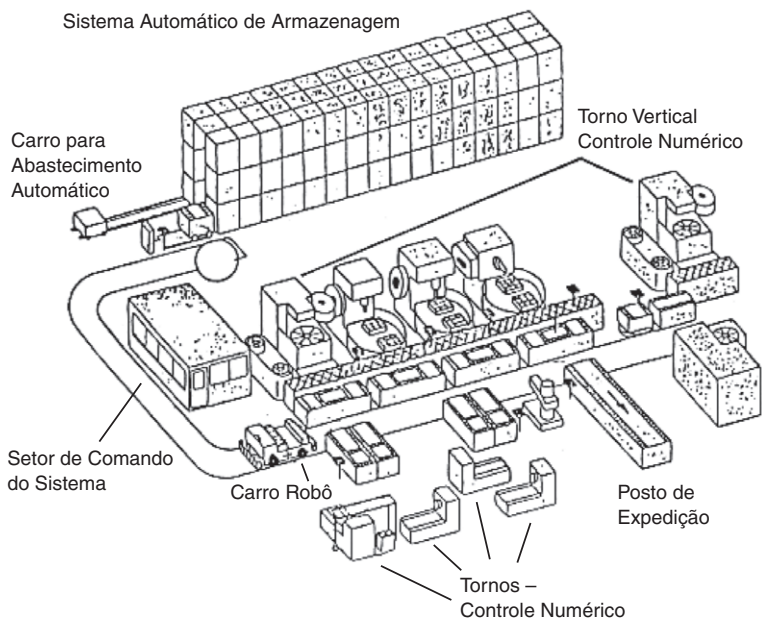


Figura 9.17. Layout FMS.

### 9.7.7 FMS versus JIT: diferenças de flexibilidade

A flexibilidade de um sistema de produção permite fazer a peça quando ela é necessária ao mercado, e não quando a produção julgar necessário.

Os objetivos de um sistema flexível de manufatura são: (1) produção com mínimo estoque em processo; (2) rápidas trocas de ferramentas e (3) flexibilidade às variações de demanda. Tais objetivos podem ser alcançados via FMS ou JIT. No primeiro, são necessários grandes investimentos e substituição de equipamentos e métodos; no segundo, utilizando os equipamentos existentes, são necessários apenas investimentos em alterações de *layout* e nos métodos de gestão da produção.

A verdadeira flexibilidade só pode ser atingida com o resultado da boa coordenação entre os meios de fabricação e a força de trabalho, daí que se deve buscar a utilização máxima do conjunto dos meios empregados, tendo em conta dois importantes princípios: (1) a automatização é adquirida nos meios físicos; e (2) a flexibilidade é adquirida nos meios de *acionamento e gestão*, que podem ser humanos (JIT *kanban*) ou via CN (Controle Numérico), CAD-CAM, FMS etc

#### 9.7.7.1 Flexibilidade de produção: variedade de produtos versus tipos de processo de fabricação

No enfoque comparativo mostrado na Figura 9.18, caracteriza-se a flexibilidade em ambos os sistemas de produção flexível: FMS (Sistemas de manufatura flexível) e JIT (Fabricação sem estoques).

Pelas características do JIT, este se aplica melhor quando os produtos têm baixa média de variedade de modelos e o tipo de processo é contínuo puro ou com diferenciação e intermitente repetitivo. Essa afirmação pode ser melhor visualizada na Figura 9.18.

Segundo este mesmo gráfico pode-se afirmar que a região que melhor se associa ao FMS é a mais próxima da origem dos referidos eixos até a média variedade de produtos/peças no eixo das abscissas e até intermitente repetitiva no eixo da ordenada. Extrapolando-se essa região, são mais adequados os sistemas altamente dedicados ou especializados, como as *linhas transfer*.

Na mesma Figura 9.18 existe uma zona de intersecção na região de produtos com média variedade e processos contínuos com diferenciação e intermitente repetitivo. Nessa região, mesmo com sistemas automatizados de fabricação diretamente controlados por um sistema de processamento de

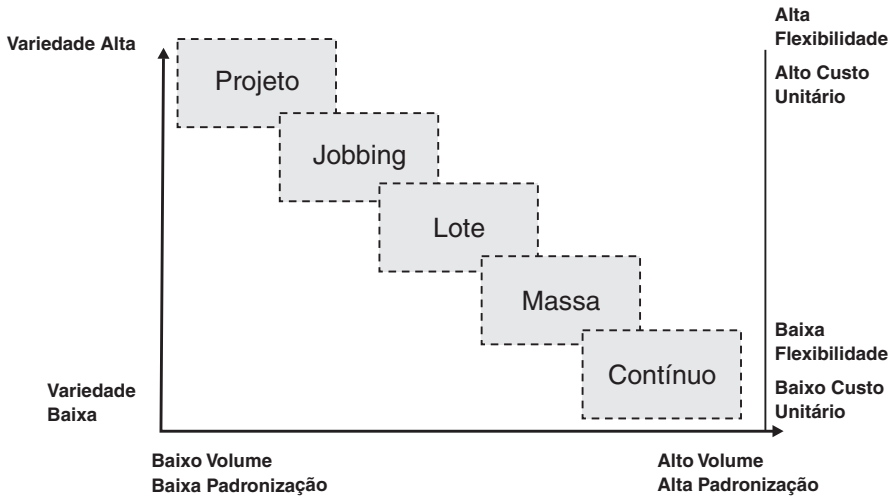


Figura 9.18. Matriz de processos e produtos.

dados, é possível o emprego da técnica japonesa *kanban* que, baseando-se no movimento de cartões, permite obter a produção *just-in-time* nas células flexíveis de manufatura.

De fato, a maioria dos robôs é, na prática, usada para operações como: soldagem, pintura, empilhamento de *contêineres*; esmerilhamento, decapagem, embalagem, carregamento e descarregamento de máquinas. Nessas tarefas, o atributo dos robôs que está sendo explorado é sua habilidade de desempenhar tarefas repetitivas, monótonas e, algumas vezes, perigosas, por longos períodos, sem variação e sem reclamação.

Mais recentemente, novos robôs podem também incluir alguma realimentação sensorial (ainda que limitada), através de controle de visão e controle de toque. Todavia, apesar de a sofisticação dos movimentos dos robôs estar aumentando, suas habilidades são ainda mais limitadas do que sugerem as imagens populares das fábricas com robôs.

## 9.8 REVISÃO DOS CONCEITOS

Neste capítulo, fizemos uma incursão nos conceitos sobre como operam os sistemas de controle da produção e as principais ferramentas utilizadas para este fim.

Essa não é uma tarefa simples, porque planejamento e controle sempre andam juntos, com um influenciando o outro ao longo de qualquer processo, conforme definido no início do capítulo. Discutiram-se os objetivos e tipos de controle para cada tipo de sistema de produção.

Além disso, o leitor foi alertado para o fato de que, na transição de um sistema tradicional para outro mais moderno, a mudança precisa ser conduzida com todo o cuidado, e com uma velocidade que seja estabelecida contemplando-se questões culturais e financeiras da empresa.

É importante considerar que nem a TOC nem o sistema JIT são panacéias.

Cada recurso explicado neste capítulo e que atende ao controle de um sistema de produção requer disciplina e a participação de todas as partes envolvidas em sua implementação e em sua contínua operação.

Os fundamentos dos recursos/ferramentas de gestão (JIT, Kanban, TOC etc.) a serem implementados precisam ser seguidos rigorosamente.

Implementá-los é como mudar um estilo de vida. A mudança de um sistema tradicional para algum desses é naturalmente difícil e demorada, tanto para o planejamento quanto para o controle da produção.

## ■ ESTUDO DE CASO: FARMÁCIA UNIVERSITÁRIA

A Farmácia Universitária é uma instituição sem fins lucrativos que possui um laboratório próprio e um único ponto-de-venda, responsáveis por atender toda a demanda dos pacientes do Hospital Universitário local, que a procuram por oferecer medicamentos subsidiados pelo governo a preço popular.

A procura pelos seus produtos é sempre bastante elevada, de maneira que, sendo seu laboratório caracterizado como farmácia de manipulação, muitas vezes, não consegue produzir a quantidade demandada pelos pacientes do Hospital Universitário. Além da produção de fórmulas padronizadas e já consagradas na indústria farmacêutica, como cremes, pomadas, loções, cápsulas e xaropes, o órgão regulamentador do Ministério da Saúde exige que a Farmácia Universitária atenda a receitas individuais específicas de cada paciente, muitas vezes com formulações fora de qualquer padrão nunca anteriormente realizado. Da mesma forma, sendo qualificada como laboratório de manipulação, não lhe é permitido operar com produção em larga escala, como operam os grandes laboratórios farmacêuticos.

Toda a produção de medicamentos da Farmácia Universitária se divide em duas grandes categorias:

- medicamentos de uso interno (cápsulas orais e xaropes);
- medicamentos de uso externo (cremes, pomadas, xampus e loções).

As suas instalações produtivas são então divididas em quatro setores: laboratório de manipulação de líquidos, laboratório de manipulação de sólidos, laboratório de controle de qualidade e almoxarifado de estoque. Toda a produção é realizada por 12 bolsistas do curso de farmácia da própria universidade, que se dividem em dois turnos de trabalho de 4 horas, entre as principais etapas dos processos, conforme ilustrado nas figuras a seguir.

É importante destacar que os bolsistas recebem treinamento para serem polivalentes em todas as etapas, desde a manipulação, envase, até o controle de qualidade. Sendo que, para a execução de cada etapa do processo produtivo, é necessária a presença de um bolsista, que fica encarregado de realizar cada operação de acordo com as ordens de produção diárias emitidas pela gerente da farmácia. Dois dos bolsistas são escalados mensalmente para serem responsáveis pelo controle estatístico da qualidade, feito em um laboratório no mesmo local.

Os atuais recursos produtivos utilizados são:

- Laboratório de manipulação de líquidos: 5 balanças de precisão, 7 cubas de inox, 2 chapas aquecedoras, 3 batedeiras industriais e 1 injetora de envase.
- Laboratório de manipulação de sólidos: 1 balança de precisão, 5 kits com cadinho de porcelana e pilão, 1 máquina de homogeneização automática, 5 bandejas de encapsulamento.

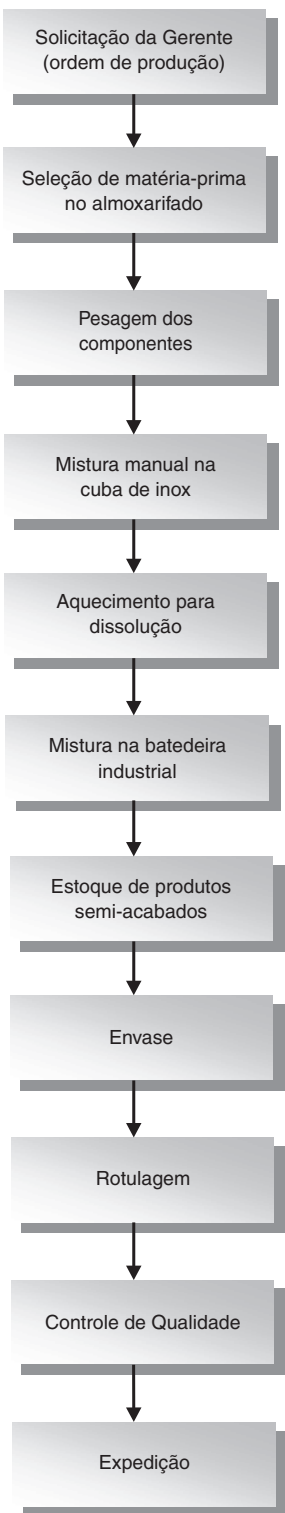
A atual divisão do trabalho no laboratório de manipulação determina que cada bolsista execute uma ordem da produção por inteiro, que irá gerar um lote de tamanho não fixo, desde a seleção de insumos até o envase do produto acabado. A gerência da farmácia acredita que, dessa forma, os bolsistas terão mais oportunidades de agregar conhecimentos em todas as etapas do processo de manipulação, destacando, assim, a polivalência dos mesmos em todas as atividades. No entanto, observa-se que, muitas vezes, as ordens de produção e a pessoa responsável por ela permanecem em espera durante o processo de manipulação, aguardando que o próximo recurso produtivo esteja liberado para uso.

O controle estatístico da qualidade é feito em amostras de 10% de cada lote de produção, sendo que o único parâmetro de garantia da qualidade medido é a aferição do peso de cada embalagem expedida após o envase. O órgão regulamentador do Ministério da Saúde baixou recentemente uma portaria exigindo que as farmácias de manipulação evidenciem não somente o peso líquido das embalagens, mas também a exata dosagem de componentes presentes em cada medicamento produzido.

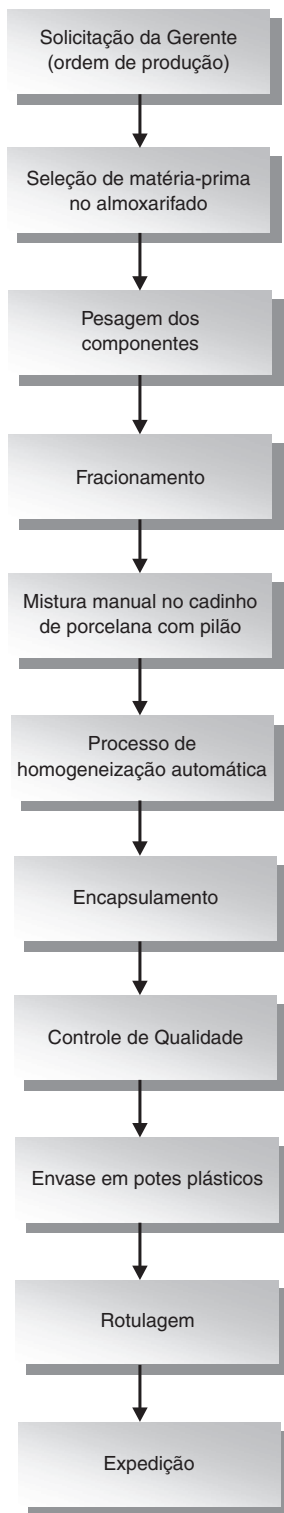
As ordens de produção são emitidas pela gerente, a partir de encomendas personalizadas de formulações especiais, ou de solicitação por parte do ponto-de-venda, que controla seus estoques de produtos acabados baseando-se no modelo do limite mínimo de estoque, que é igual para todos os itens, independentemente do seu nível de demanda.

A gestão dos estoques de matérias-primas e de embalagens de envase é feita por um colaborador, que controla a entrada e saída de materiais, baseando-se igualmente pelo limite mínimo de estoque determinado. Quando algum item atinge esse limite, é emitida uma solicitação de compra para a diretoria da farmácia, que se encarregará então de fazer pesquisa de preços entre cinco diferentes fornecedores de componentes químicos e três diferentes fornecedores de vasilhames de envase. O atual modelo de gestão informa apenas qual dos itens atingiu o limite inferior de estoque de segurança, não sendo nunca definida que quantidade precisa a ser comprada.

## Produção de Líquidos



## Produção de Sólidos





Dessa forma, a diretoria da farmácia realiza sempre suas compras priorizando o menor custo possível entre os fornecedores. Tal fato sempre acarreta compra de enormes lotes de matérias-primas e de embalagens, de fornecedores que costumam empurrar lotes fechados e de grandes quantidades, alegando que, dessa forma, os custos de frete serão minimizados. A partir da emissão das ordens de compras, o recebimento dos insumos costuma demorar em torno de uma semana.

A atual gerente da farmácia tem enfrentado muitos problemas com *stock-out* de matéria-prima e principalmente de embalagens de envase mais utilizadas, que em muitas ocasiões se encontram indisponíveis no almoxarifado da farmácia, ao passo que embalagens pouco utilizadas são encontradas aos montes no estoque. Outra grave consequência da atual política de gestão de estoques é a perda de certos compostos químicos ainda em estoque. A compra em grandes lotes, muitas vezes, deixa os insumos vulneráveis à ação do tempo e da umidade, podendo contaminar-se e fazer os compostos perderem seus princípios ativos, sem contar a enorme quantidade de itens cujo prazo de validade expira após poucas semanas de armazenagem. O constante desperdício e falta de matérias-primas, além da escassez de espaço para estocagem de enormes caixas de vasilhames vazios, se tornou um problema crítico que a gerente não encontra meios de resolver.

O atraso na entrega de encomendas especiais de pacientes, tanto quanto de produtos de venda contínua, esbarra sempre na limitação pela falta de um planejamento de produção, e pela falta de matéria-prima em estoque.

Após alguns meses de vendas perdidas e reclamações por parte dos clientes, a gerente da farmácia resolveu contratar uma consultoria externa, a qual será responsável por identificar os reais problemas e gerar soluções para o controle de qualidade, a gestão de estoques e o planejamento e controle da produção.

### ATIVIDADE PROPOSTA

Após a leitura do caso, pede-se:

1. Elaborar um estudo sistemático dos problemas enfrentados pela gerente da Farmácia Universitária, definindo indicadores para controle de processos em cada uma das áreas do processo de manipulação, identificando todos os fatores envolvidos.

2. Elaborar uma proposta de melhoria para o processo de fornecimento e o modelo de gestão de estoques, segundo os conceitos dados nos capítulos anteriores.

3. Elaborar uma proposta de melhoria para o processo produtivo.

4. Identificar o gargalo e elaborar um *layout* entre as operações e os operadores para ambos os processos produtivos, de maneira que sejam eliminados as paradas e os atrasos na produção.

5. Explicar como um Planejamento Agregado da Produção poderá auxiliar a gerente na gestão de seus estoques de insumos e produtos acabados, bem como na tentativa de atender à sua demanda diária.

6. Explicar como a ferramenta *kanban* e os conceitos do *Just-in-time* podem ser utilizados nesse caso.

7. Como a Demanda influencia esse processo produtivo? Faça uma proposta.

### PALAVRAS-CHAVE

Execução e controle

Controle e gestão da produção

Indicadores de desempenho

Controle de estoque intermediário

*Optimized production technology* (OPT)

Ferramentas de controle de projetos

Produção automatizada

CURVA “S”

EAP

JIT *Just-in-time*

Cartões Kanban

DNC (Controle numérico direto)

CAD (Projeto assistido por computador)

CAM (Manufatura assistida por computador)  
CIMS (Sistema de manufatura integrado por computador)  
sistema de manufatura flexível (FMS)  
FMU (*Flexible manufacture unity*)/Unidade de manufatura flexível)  
FMC (Célula de manufatura flexível)  
CNC, Controle numérico direto (DNC)  
Sistema flexível de manufatura (FMS)  
Fábrica automática ou CIM

## 9.9 EXERCÍCIOS

1. Considere uma oficina de equipamentos de bombeiros. Para essa oficina sugerimos que você proponha os indicadores relativos ao cumprimento da quantidade:
  - a) Manutenção
  - b) Reparos
2. Pesquisar outras fontes de controle dos processos produtivos. Apresentar relato sobre o conteúdo do Bureau of Labor Statistics ([HTTP:stas.bls.gov](http://stas.bls.gov)), que publica estatísticas sobre produtividade de múltiplos fatores, as quais são uma medida composta de trabalho, capital, energia e recursos de materiais.
3. Defina produtividade. Como devemos medir a produtividade? Por que as empresas devem estar preocupadas com a produtividade?
4. Explique por que é necessária uma abordagem de múltiplos fatores para medir a produtividade.
5. A American Productivity Quality Center (APQC) é uma organização educacional e de pesquisa sem fins lucrativos patrocinada por centenas de organizações. Seu propósito é auxiliar as empresas a administrar mudanças, melhorar processos, alavancar o conhecimento e aumentar o desempenho tornando-as ágeis, criativas e competitivas. Visite e explore o site da APQC na Internet ([www.apqc.org](http://www.apqc.org)). Relacione diversas empresas que sejam membros/patrocinadores da APQC. Explique como o *benchmarking* poderia ajudar as empresas a aumentar sua produtividade.
6. Visite o site da Occupational Safety and Health Administration (OSHA) na Internet em [www.osha.gov](http://www.osha.gov) e descubra e resuma sua missão.

# Logística

RODRIGO JORGE DE OLIVEIRA • LUIZ FELIPE SCAVARDA

**Agradecimentos:** Cintia Cristina Motta Carneiro, Felipe Alves e José Henrique Bravo Alves (Diretor da Petrolog).

## ■ OBJETIVOS DE APRENDIZADO

A integração da manufatura com fornecedores e clientes constitui cadeia de suprimento. Produtividade, qualidade e eficácia são, na atualidade, mensurados na cadeia produtiva em que a empresa se situa. O capítulo sobre logística foi incluído neste livro que aborda o Planejamento e Controle da Produção para proporcionar ao leitor compreensão da integração do PCP com a cadeia de suprimentos.

Pretende-se que ao final do capítulo o leitor tenha adquirido os conceitos fundamentais da logística. Tenha, então, bastante claro que a logística é considerada geradora de vantagens competitivas, viabilizando a integração de cadeias dentro do conceito de Gestão de Cadeias de Suprimentos, em inglês *Supply Chain Management* (SCM).

O presente capítulo introduz os principais conceitos, fundamentos e práticas relacionados à Logística Empresarial e ao Planejamento das Necessidades de Distribuição (DRP). Apresenta primeiramente uma introdução à logística e às principais áreas funcionais que devem ser coordenadas para se atingir a competência logística. O DRP é abordado em seguida, enfocando, em seus aspectos gerais, suas características de operação, seus mecanismos de cálculo e a sua integração entre os diferentes elos da cadeia de suprimentos. O capítulo também oferece um caso de intermodalidade ocorrido entre um operador logístico e uma concessionária ferroviária da malha sudeste do Brasil.

## 10.1 INTRODUÇÃO

### 10.1.1 Introdução à logística

Evolução do conceito de logística

Apesar de a logística ser considerada um conceito moderno, a sua origem está associada aos primórdios da humanidade. O termo *logística* deriva do grego *logos*, que significa razão ou a arte de calcular.

Algumas das funções logísticas já eram praticadas no início da história do homem, como a necessidade de transformar em estoque uma produção agrícola para enfrentar um período de inverno aliado à manutenção da integridade desse estoque por meio da armazenagem. Com o desenvolvimento do comércio, passou também a ser necessário transportar o produto em estoque do local de produção para o local de consumo. Mesmo com a grande influência do comércio, muito do desenvolvimento da logística também está relacionado às atividades militares ligadas às guerras. A necessidade de deslocar tropas, suprimentos e munição com rapidez e flexibilidade em condições geográficas, climáticas e numéricas adversas fez com que grandes generais do passado, como Alexandre o Gran-

de, Aníbal e Júlio César fossem conhecidos, e que suas estratégias militares fossem estudadas pelos interessados em logística. No século XVII, o exército francês criou o posto de *maréchal des logis*, responsável pelas atividades administrativas relativas a marchas, acampamentos e aquartelamentos das tropas em campanha.

Nesse contexto, é natural que as primeiras definições formais de logística tenham saído do meio militar. Uma das mais conhecidas é atribuída ao Barão Antoine-Henri Jomini (1779-1869). Seu trabalho intitulado *Précis de l'Arte de la Guerre* (em português, *Sumário da Arte da Guerra*), publicado em 1838, dividiu a arte da guerra em cinco grupos: estratégia, grande tática, logística, engenharia e pequena tática. Jomini define logística como:

“A arte prática de movimentar os exércitos, compreendendo não apenas os problemas de transporte, como também o trabalho de estado maior, as medidas administrativas e as atividades de reconhecimento e de informação necessários para o deslocamento e a manutenção de forças militares organizadas.”

Percebe-se que essa definição de Jomini, dada há quase dois séculos, já incorpora uma parte da filosofia tradicional da logística empresarial, porém com enfoque no mundo militar. Ao longo da segunda metade do século XIX e primeira metade do século XX, várias outras definições surgiram, mas o enfoque militar ainda era predominante, centrado no deslocamento de tropas engajadas em operações militares.

Na atual era da informação, a influência das atividades militares na logística também pode ser vista, como nos sistemas de comunicação de radiofrequência utilizados pela aviação britânica para evitar o fogo amigo ainda na primeira metade do século passado; e, mais recentemente, com o desenvolvimento pelas forças militares americanas do GPS (*Global Positioning System*). Esse sistema é composto de 24 satélites que percorrem a órbita do planeta Terra a cada 12 horas, permitindo a localização geográfica de um objeto em três dimensões (latitude, longitude e altitude).

A visão empresarial da logística surgiu com mais força na segunda metade do século XX, motivada por fatores como: o aumento do escopo geográfico das empresas, acarretando um maior custo de transporte; a grande melhora obtida na eficiência da produção; a proliferação do número de SKUs (*stock-keeping-units*); o aumento das velocidades de armazenamento e de processamento dos computadores associados à queda de seus preços e dos de outras tecnologias de informação.

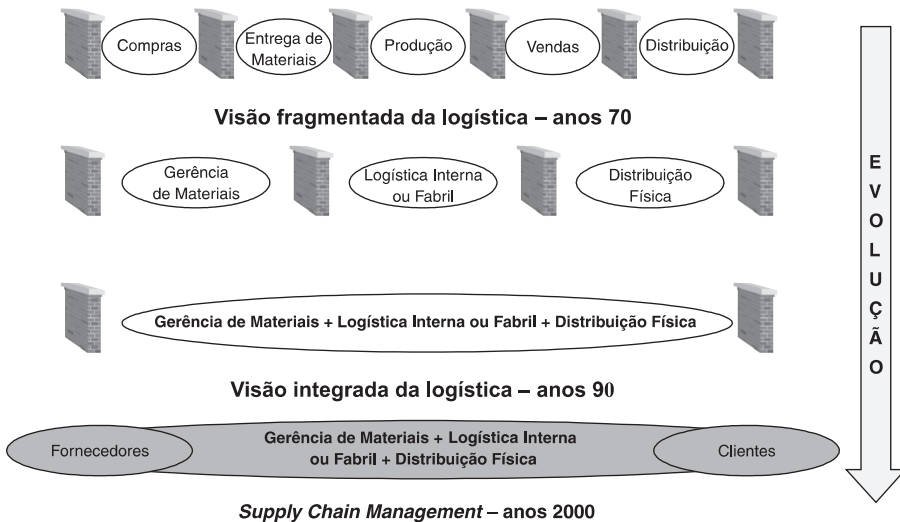


Figura 10.1. Evolução da logística.

Na década de 1960, surgiram as primeiras associações relacionadas à logística. Uma das mais importantes foi criada em 1963 por um grupo de acadêmicos, consultores e praticantes norte-americanos, o *National Council of Physical Distribution Management* (NCPDM). Nesse período ainda predominava uma visão da logística fragmentada, operacional e voltada separadamente para os diversos departamentos e áreas das empresas. Com o crescimento da importância da logística, de seu escopo e de sua área de atuação, o nome da associação foi alterado em 1985 para *Council of Logistics Management* (CLM). Essa mudança foi ao encontro de uma visão integrada da logística dentro das empresas ocorrida na década de 1980 nos Estados Unidos e na década de 1990 no Brasil. A logística deixou de ser vista como uma fonte de custos, para ser considerada uma geradora de vantagens competitivas, com abrangência estratégica de integração de cadeias dentro do conceito de Gestão de Cadeias de Suprimentos, em inglês *Supply Chain Management* (SCM). A Figura 10.1 ilustra essa evolução da logística.

Para se adequar a essa nova realidade, o CLM mudou seu nome em 2005 para *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP).

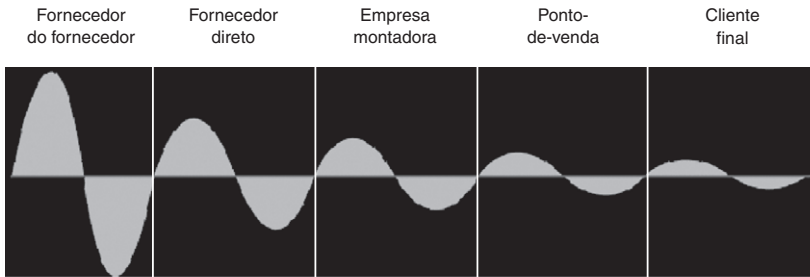
O CSCMP oferece uma definição para logística amplamente aceita pelo meio acadêmico e industrial:

“É a parte da Gestão da Cadeia de Suprimentos que planeja, implementa e controla de maneira eficiente e efetiva o fluxo direto e reverso e a armazenagem de bens, serviços e informações relacionadas do ponto de origem ao ponto de consumo com objetivo de atender às necessidades do cliente.”

No Brasil, as primeiras associações foram criadas no final da década de 1970. Em 1977 surgiu a Associação Brasileira de Administração de Materiais (ABAM) e a Associação Brasileira de Movimentação de Materiais (ABMM), em 1979 o Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais (IMAM) e em 1989 a Associação Brasileira de Logística (ASLOG). As primeiras empresas especializadas em prestar serviços logísticos no Brasil surgiram ao longo dos anos 80. Quase uma década depois, desembarcaram no Brasil os grandes *players* mundiais, como Danzas, Exel, McLane, Penske, Ryder e TNT. Muitos desses entrantes buscaram comprar ou estabelecer associações e parcerias com as empresas já estabelecidas, de forma a obter rapidamente conhecimento da logística local e da filosofia empresarial brasileira, em troca de oferecer novas tecnologias e capital de investimento. Essas mercadorias de troca são cada vez mais necessárias para as empresas brasileiras, dada a crescente complexidade dos sistemas logísticos modernos.

### *Importância da informação na gestão integrada da cadeia de suprimentos*

Pires (2004) ressalta que um grande problema de uma gestão integrada da cadeia é a limitada visibilidade da demanda real, e que fenômenos como o efeito chicote (também chamado efeito cascata, ou *bullwhip effect*, ou efeito Forrester) amplificam e distorcem a demanda no sentido montante da cadeia (sentido dos fornecedores, também chamado de *upstream*). A Figura 10.2a ilustra o efeito chicote em um exemplo no qual uma pequena alteração na demanda do cliente final é amplificada de membro a membro até chegar ao fornecedor de segunda camada (fornecedor do fornecedor da empresa montadora). O atual estágio da tecnologia da informação e comunicação tem permitido o compartilhamento de informações entre fornecedores e clientes, criando cadeias formadas por unidades de negócios independentes e integradas virtualmente. Nesse contexto, a lógica das informações sobre a demanda passa a ser mais importante que a gestão dos estoques na tradicional lógica, ou seja, “a meta é substituir (reduzir) estoques através da melhoria da qualidade da informação sobre a demanda” (Pires, 2004, 79). A Figura 10.2b ilustra o que seria ideal dentro de uma visão de cadeia integrada. Essa inexistência de amplificação/distorção da demanda é algo muito difícil de ser alcançado na prática, pois as cadeias não conseguem ser tão flexíveis. Vários fatores, como lotes econômicos de produção e de transporte, descontos em função da quantidade de compra e falta de previsões de demanda colaborativas, fazem com que a distorção da informação real de demanda seja freqüente na prática.

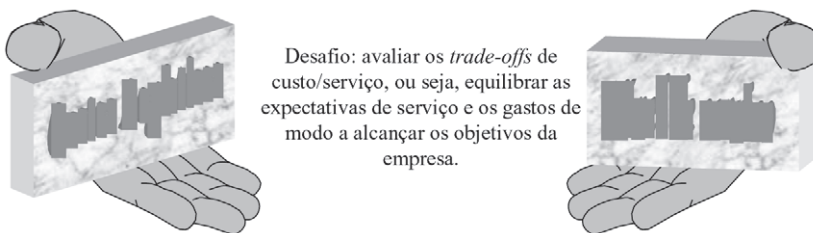
(a) Cadeia de Suprimentos com o Efeito Chicote / *bullwhip effect*

(b) Objetivo de uma gestão integrada de cadeia

**Figura 10.2.** Efeito chicote.

### Desafio da logística

O maior desafio da logística é oferecer um nível de serviço adequado por um custo que o cliente esteja disposto a pagar. Raramente uma análise que considera somente o custo total mais baixo possível ou outra que contempla apenas o melhor nível de serviço constituirão por si próprias uma estratégia logística desejável. O balanço entre esses dois aspectos (*trade-off*) deve ser alcançado, e é ilustrado na Figura 10.3.

**Figura 10.3.** O desafio da logística.

O *trade-off* entre custos e nível de serviço oferecido terá equilíbrios diferentes de acordo com as indústrias, os produtos e os clientes envolvidos. Se o *trade-off* da Figura 10.3 for analisado sob a ótica dos militares americanos na guerra do Iraque, veremos que o peso dado ao nível de serviço prestado aos soldados combatentes foi bem maior que o peso dado ao custo logístico da operação de guerra. A logística empresarial também pode oferecer exemplos desse tipo, como é o caso das distribuidoras de gases medicinais. O nível de serviço prestado aos hospitais deve ser muito elevado, pois a ausência desses gases pode ser vital para pacientes hospitalizados. O mesmo não ocorre com uma *commodity* industrial de um fornecedor pequeno para o supermercado. Nesse último exemplo, o custo logístico tem grande influência no *trade-off*. Caso falte esse tipo de produto, o consumidor comprará outro sem que isso repercuta na imagem do supermercado. Salvo algumas exceções, a escolha do tipo de uma *commodity* pelo consumidor é fortemente baseada em seu preço.

Para obter um equilíbrio adequado entre custo e nível de serviço, deve-se identificar para quem o serviço será oferecido e também os elementos que irão compor o serviço a ser prestado. A formulação e implementação do SLA (*Service Level Agreement*) com o intuito de atender às necessi-

dades de cada grupo de clientes de forma diferenciada é um importante passo. Entre os vários atributos relacionados ao nível de serviço logístico, pode-se citar: disponibilidade de produtos, pedidos embarcados completos, tempo do ciclo do pedido, frequência de entrega e flexibilidade do sistema de entrega.

### *Prestadores de Serviços Logísticos (PSLs)*

Toda empresa é considerada um Prestador de Serviços Logísticos (PSL) quando realiza para um terceiro algum tipo de atividade logística, por mais simples que ela seja. No passado, diversas empresas se especializaram na realização de apenas uma única atividade: transporte, armazenagem, desembaraço aduaneiro, suporte fiscal, embalagem e/ou etiquetagem, entre outras. Os contratos dessas empresas com seus clientes eram de curto prazo, e o serviço oferecido era genérico, facilmente replicado pelos concorrentes. Os prestadores tinham como objetivo minimizar o custo específico de sua atividade contratada. A seleção desses PSLs por parte do contratante era feita com ênfase no preço, tendo uma ampla base de fornecedores.

Com o passar do tempo, muitos desses PSLs passaram a aumentar a sua oferta de serviços incorporando a execução de outras atividades. Por exemplo, transportadores passaram também a oferecer serviços de armazenagem para os seus clientes de forma a agregar mais valor ao seu produto. A empresa passa a se chamar operador logístico quando oferece um serviço personalizado que envolve a gestão e execução de diversas atividades logísticas integradas ao longo da cadeia de suprimentos. O operador busca reduzir os custos totais da logística, melhorar o nível de serviço e aumentar a flexibilidade de seu cliente. Os contratos desse operador são mais duradouros, podendo chegar a vários anos. A seleção dos operadores por parte dos contratantes é feita com base em múltiplos critérios (preço, qualidade, flexibilidade e outros atributos de nível de serviço).

### **10.1.2 Áreas funcionais da logística**

Para Bowersox e Closs (2001), a competência logística é obtida pela coordenação das seguintes áreas funcionais: projeto de rede logística; informação; transporte; estoque; armazenagem; manuseio de materiais e embalagem. Essa coordenação deve ocorrer de forma integrada, pois as áreas são interdependentes. É impossível desenvolver um projeto de rede sem considerar a forma com que a informação e o transporte serão incluídos para integrar os diversos elos da cadeia de suprimentos. Nesse mesmo projeto também devem ser consideradas a localização e a política de estoque ao longo da cadeia e sua respectiva armazenagem. Mesmo que de forma mais indireta, as demais áreas funcionais também afetam o projeto de rede. Esta subseção abordará cada uma dessas áreas.

#### **Projeto de rede logística**

O projeto de rede abriga todas as instalações logísticas pertencentes a uma cadeia de suprimentos, entre elas: fábricas, armazéns, centros de distribuição (CDs), pontos de transbordo,<sup>1</sup> de *cross-dock*<sup>2</sup> e de vendas. O projeto de rede deve determinar quantas unidades de cada instalação são necessárias (por exemplo, números de CDs para atender um determinado mercado), onde elas devem ser localizadas (por exemplo, em países, estados, cidades), o trabalho que deve ser executado nelas (desde atividades normais de armazenagem até atividades de montagem e embalagem), as suas capacidades (produtivas ou de armazenagem) e se a distribuição será direta (da fábrica diretamente para os pontos-de-venda) ou escalonada (distribuição via CD). Esse projeto deve viabilizar o planejamento logístico da empresa e equilibrar o *trade-off* entre os custos e o nível de serviço logístico.

<sup>1</sup> Local onde a mercadoria é transferida de um veículo para outro.

<sup>2</sup> Nesta operação o produto chega à área de recebimento e é manuseado para a área de expedição, sem ficar armazenado. É uma movimentação rápida do produto, que, ao ser descarregado na doca ou plataforma de recebimento, vai diretamente para a expedição a fim de ser carregado no veículo que o levará para o cliente.

Por mais que o projeto de rede seja bem elaborado, a empresa deve revê-lo com certa frequência de forma a adaptá-lo às mudanças existentes em um mundo empresarial dinâmico e competitivo sujeito a alterações na oferta e na demanda dos produtos, novas tecnologias e metodologias de gestão, novas leis tributárias e de incentivos financeiros e fiscais, alterações na infra-estrutura de transportes (por exemplo, novas estradas e terminais portuários), entre outros agentes de mudanças. Os incentivos financeiros e fiscais podem ocorrer nas três diferentes esferas (municipal, e/ou estadual e/ou federal). Os incentivos financeiros variam de financiamentos com taxas diferenciadas a concessões de uso de terrenos, treinamento de mão-de-obra etc. Os incentivos fiscais obrigatoriamente têm de estar amparados por legislação específica que os sustente e aprovados pelo CONFAZ (Conselho Nacional de Política Fazendária) nas esferas estadual e federal, para não ser considerado inconstitucional. Atualmente, há órgãos específicos nos governos estaduais que trabalham com o objetivo de atrair os investimentos para dentro de seus estados, como o CODIN (Cia. de Desenvolvimento Industrial do Estado do Rio de Janeiro) e o INDI (Instituto de Desenvolvimento Integrado de Minas Gerais). Quanto à análise de infra-estrutura de transporte, é fundamental considerar conservação e possibilidade de investimento futuro para modernização das mesmas. Não basta calcular distância e custos associados sem conhecer essas variáveis, pois pode sair mais caro do que se planeja, devido a custo de operação (manutenção por quebra etc.). Como último exemplo, pode-se citar o modal ferroviário no Brasil, que está em pleno desenvolvimento e ofertando cada vez mais serviços ao mercado. Só esse dinamismo já é motivo para revisão constante do projeto.

O problema de localizar uma instalação logística consiste em escolher uma posição geográfica de forma a maximizar uma medida de utilidade ou nível de serviço satisfazendo diversas restrições, como as dos custos logísticos e fiscais e de demanda. Não existe uma regra geral para essa escolha, podendo variar de acordo com o setor, a empresa e até mesmo o produto. O setor público busca maximizar o benefício oferecido à sociedade ou minimizar os custos dos serviços oferecidos. Já no setor privado, o objetivo é normalmente a maximização dos resultados, porém há um movimento empresarial crescente de responsabilidade social que considera os aspectos ambientais e o bem-estar da sociedade como parte desses resultados – são as chamadas empresas socialmente responsáveis. Os problemas de localização podem ser classificados de maneira geral em: localização em um plano, localização em uma rede e localização com instalações preestabelecidas.

Na localização em um plano, parte-se da premissa de que não existem restrições de percurso (ruas, vias, rotas etc.) nem locais pré-escolhidos ou pré-selecionados. Esse tipo de problema é muito utilizado quando se busca uma solução inicial aproximada e de resposta rápida ou para um estudo de política geral. Os métodos de localização mais comuns nesse tipo de problema são o centro de gravidade e o ponto central. No centro de gravidade busca-se o ponto em que há um equilíbrio de peso entre os pontos de origem e os de destino, em que o peso pode ser quantidades de pessoas, ou de produtos, ou de cargas totais, entre outras possibilidades. O método do ponto central busca combinar um ou vários parâmetros para a escolha da localização. Esses parâmetros podem ser o peso, a distância ou até mesmo o tempo. Quando se utiliza apenas a distância como parâmetro, o método determina o ponto que representa a menor distância combinada para todos os demais pontos de origem e destino do plano. Nesse caso considera-se que os custos estejam relacionados apenas com a distância, desprezando outros parâmetros. Quanto mais parâmetros forem utilizados, maior será o esforço matemático e computacional, porém mais precisa poderá ser a solução encontrada. As métricas mais adotadas para as distâncias nesse tipo de problema são a euclidiana e a metropolitana (ou retangular).

A localização em uma rede pressupõe a existência das restrições de percurso. Assim, nos diversos modos de transporte são consideradas as suas respectivas redes, sejam elas as rodoviárias, as ferroviárias, as fluviais, entre outras. A distância entre dois pontos é medida ao longo dos diversos segmentos da rede. Detalhes como o sentido da mão de ruas e os seus horários também são considerados. As redes são representadas por um conjunto de nós e arcos. Entre as diversas heurísticas de solução existentes para esse problema, pode-se citar o Método Guloso e o Método de Maranzana.



Existem problemas cuja a localização deve ser feita em locais ou regiões já previamente estabelecidas. Nesse caso é necessário ponderar os fatores ligados à localização para resolver esse tipo de problema. Existem diversos fatores (qualitativos e quantitativos) que influenciam a decisão de localização, entre eles:

- proximidade do consumidor, da fonte de matéria-prima, dos demais fornecedores e de infra-estrutura de transportes (rodovias, ferrovias, portos etc.);
- condições da infra-estrutura de transporte (se a rodovia é ou não asfaltada, se existe a possibilidade de essa rodovia sofrer com enchentes em um período do ano; se o terminal portuário possui equipamentos modernos de manuseio de carga etc.);
- custo de aquisição da área e a disponibilidade para ampliações futuras;
- informações sobre a mão-de-obra local (nível de escolaridade, salários, forças dos sindicatos etc.) e sobre o mercado consumidor local (poder aquisitivo, perfil de compra etc.);
- existência de incentivos territoriais (exemplo: doação ou concessão de uso), fiscais ou então educacionais (necessários para formar mão-de-obra) e de uma infra-estrutura de telecomunicações (por exemplo, cabos de fibra óptica) e de saneamento básico (mesmo existindo uma infra-estrutura local, deve-se avaliar se ela será suficiente para o fornecimento da nova localidade).

Um novo aspecto que tem sido recentemente levado em consideração é a qualidade de vida do local onde a instalação ficará (custo de vida, índice de violência, transportes coletivos, número de hospitais etc.). Esses fatores, chamados de subjetivos, têm sido considerados, em países de primeiro mundo, como mais importantes do que os objetivos, devido a exigências sindicais e ao alto custo da mão-de-obra.

Alguns desses fatores são mais importantes do que outros, variando de caso para caso.

Heizer e Render (1996) apresentam o Método de Ponderação dos Fatores Ligados à Localização para resolver esse tipo de problema. Esse método possui os seguintes passos, conforme ilustrado na Figura 10.4 para a escolha entre duas cidades:

1. gerar uma lista de fatores relevantes para a análise de localização (primeira coluna);
2. atribuir a cada fator da lista um peso que reflita a sua importância relativa aos objetivos da empresa (segunda coluna);
3. criar uma escala para cada fator, por exemplo: 1 a 10 ou 1 a 100;
4. pontuar cada fator para os locais prestabelecidos com base na escala definida pelo passo 3 (terceira e quarta colunas);
5. multiplicar os pesos de cada fator (definido no passo 2) pela pontuação desses fatores relativos às cidades candidatas (definida no passo 4);
6. analisar a pontuação total obtida para cada cidade (ou local) com base na soma de seus respectivos resultados obtidos pelo passo 5. O local que tiver maior pontuação é o selecionado.

No exemplo da Figura 10.4, a cidade A é a mais indicada para a localização estudada, com uma pontuação de 70,4. Esse é um método pouco matemático e mais subjetivo quando comparado aos outros métodos apresentados, mas muitas vezes o seu uso é bem apropriado. A associação de métodos quantitativos e qualitativos também pode e deve ser utilizada.

## Informação

A informação tem hoje possivelmente o papel mais importante para a gestão logística. Não existe um fluxo de materiais eficaz e eficiente sem que ele seja integrado com um fluxo de informações, o que faz a informação na logística ser essencial para gerar vantagem competitiva.

A informação é o alicerce sobre o qual as decisões logísticas de todas as áreas funcionais são tomadas, devendo ser:

- precisa, representando a realidade: por exemplo, o estoque físico deve corresponder ao estoque indicado pelo sistema de informação;

- de fácil acesso, com atualização em tempo hábil;
- útil para os responsáveis pelas decisões;
- flexível para se adaptar às necessidades específicas de usuários e clientes.

FATORES	PESO	CIDADE A	CIDADE B	CIDADE A	CIDADE B
Custos de mão-de-obra	,25	70	60	$(,25)(70)=17,5$	$(,25)(60)=15,0$
Sistemas de transportes	,05	50	60	$(,15)(50)=2,5$	$(,05)(60)=3,0$
Educação e saúde	,10	85	80	$(,10)(85)=8,5$	$(,10)(80)=8,0$
Impostos	,39	75	70	$(,39)(75)=29,3$	$(,39)(70)=27,3$
Recursos e produtividade	,21	60	70	$(,21)(60)=12,6$	$(,21)(70)=14,7$
Total	1,0			<b>70,4</b>	<b>68,0</b>

**Figura 10.4.** Exemplo de aplicação do método de ponderação dos fatores ligados à localização.

A tecnologia tem ajudado a informação a ter essas características, possibilitando, assim, a integração dos principais processos da cadeia e viabilizando a SCM. A tecnologia de informação não somente tem evoluído em termos de velocidade de processamento e de capacidade de armazenamento, como também tem ficado mais acessível para as empresas em termos de custos. Existem diversas tecnologias para coletar, armazenar, processar e transmitir a informação ao longo da cadeia.

Os sistemas de informação têm tido uma grande influência na logística empresarial. Eles podem ser divididos em sistemas transacionais e sistemas analíticos. Os sistemas transacionais são responsáveis por coleta, processamento, registro e transmissão da informação a ser comunicada acerca das operações passadas e presentes; e para a compilação e disseminação de relatórios sintetizando essa informação para a empresa. Esses sistemas permitem saber o que está acontecendo na cadeia de suprimentos, por exemplo, é possível saber quais produtos estão disponíveis em um específico depósito de uma empresa. Já os sistemas analíticos contribuem para aperfeiçoar as decisões da cadeia de suprimentos, baseados nos modelos construídos a partir do banco de dados das informações da cadeia de suprimentos. A otimização e simulação podem ser exemplos desses sistemas. Com esses sistemas é possível saber quais produtos deveriam estar disponíveis em um específico depósito da empresa, dado um determinado cenário.

Entre os principais sistemas de informação, pode-se citar: o *Enterprise Resource Planning* (ERP),<sup>3</sup> que originalmente era um sistema transacional e que hoje possui diversas funcionalidades analíticas, e os sistemas analíticos *Warehouse Management System* – WMS (Sistema de Gerenciamento de Armazéns), *Transport Management System* – TMS (Sistema de Gerenciamento dos Transportes) e *Customer Relationship Management* – CRM (Gerenciamento do Relacionamento com o Cliente). O WMS gerencia e otimiza as atividades operacionais e administrativas de um armazém. Esse sistema é responsável por atividades como: a execução do planejamento de estoque, o controle de inventário, a realização de planos de armazenagem, recebimento de mercadorias, separação/*picking* e endereçamento até a expedição, além de poder definir rotas que minimizam a distância média percorrida no armazém. O TMS gerencia e otimiza as atividades relativas ao transporte. Esse sistema é responsável por funcionalidades como a gestão da frota e dos fretes, a definição das rotas (roteirização), a programação de cargas e as reconciliações de carregamento e das documentações de embarque. O CRM tem como objetivos: segmentar os clientes, gerenciar o relacionamento com os clientes, atrair e desenvolver clientes fiéis e lucrativos, coletar, processar e transmitir dados sobre o mercado para a empresa, fornecer ao cliente uma visão unificada da empresa e permitir que informações detalhadas sobre cliente e produto estejam disponíveis de modo que os vendedores possam direcionar seu trabalho ou os clientes possam configurar seus próprios pedidos.

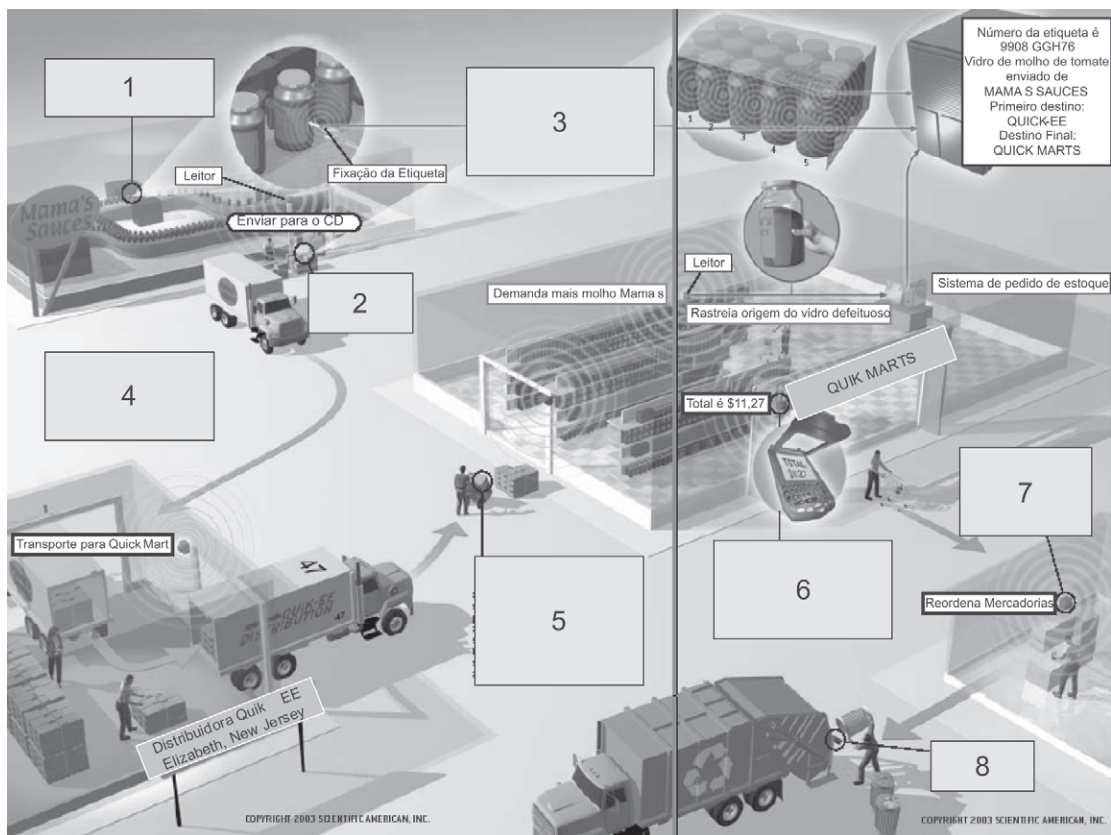
<sup>3</sup> Ver Capítulo 11.

Além dos sistemas de informações, outras tecnologias de informação também têm se destacado, como a troca eletrônica de informação de documentos em formato padrão (*electronic data interchange* – EDI), o sistema de código de barras e o seu sucessor, o sistema de identificação por Rádio Frequência (*Radio Frequency Identification* – RFID). O sistema RFID utiliza ondas eletromagnéticas para o intercâmbio de dados, permitindo realizar remotamente o armazenamento e a recuperação de informações usando um dispositivo chamado de etiqueta de rádio identificação. Esse sistema apresenta várias vantagens em relação ao tradicional sistema de código de barras, como: a atualização de forma rápida e eficiente das informações em tempo real, a possibilidade de reutilizar a etiqueta, a maior capacidade para armazenar, ler e transmitir dados e a possibilidade de realizar uma leitura simultânea de vários produtos sem necessidade de um contato próximo entre o leitor e a etiqueta. Os principais obstáculos para o uso do sistema RFID são ainda o elevado custo do sistema e a questão da quebra da privacidade e a logística reversa, nos casos de reutilização das mesmas.

A Figura 10.5 apresenta uma aplicação do uso da tecnologia RFID em uma cadeia de suprimentos. A etiqueta é afixada na embalagem do produto na fábrica enquanto passa na esteira, com determinados códigos especificadores, prontos para serem enviados para a central de dados. Informações como código do produto, local de fabricação e local de destino são associadas às etiquetas (passo 1 da Figura 10.5). Em seguida, um palete contendo caixas do produto é preparado para transporte (passo 2). Quando lida na fábrica, cada caixa responde com seu código identificador. Na saída das mercadorias, os produtos, as caixas e os respectivos paletes são associados à fábrica de origem, via Internet, criando um banco de dados. Com isso os pontos de destino e de transbordo têm acesso a informações do tipo: dia e hora em que o produto é colocado no caminhão com destino ao CD (passo 3). No CD, outro leitor verifica a chegada das mercadorias, inspecionando sua identidade e informações de embarque, sem necessidade de abertura de caixas. Em seguida, a mercadoria é despachada (passo 4). O carregamento chega no ponto-de-venda (supermercado), sendo automaticamente adicionado ao sistema de estoque. Assim que o nível de estoque ficar abaixo do estipulado, é enviada uma mensagem ao fabricante para que envie mais produtos (processo de ressuprimento). Se há eventuais problemas com o produto, o fabricante é contatado, podendo identificar: fábrica responsável, lote de fabricação, máquinas que estiveram envolvidas com essa fabricação, fornecedores e matéria-prima utilizados, entre outras informações importantes relativas ao problema (passo 5). O cliente não necessita aguardar no caixa, pois um leitor soma suas compras enquanto ele sai com o carrinho pelo corredor. Um dispositivo digital lista os produtos e o preço, possibilitando completar a transação através de um botão. Ao final do processo, os valores dos produtos adquiridos pelo consumidor podem ser debitados, também automaticamente, em seu cartão de crédito (passo 6). Um leitor no refrigerador ou prateleira permite saber quando a mercadoria está em falta e, através de um sinal para o computador pessoal, a inclui nas próximas compras (passo 7). Quando o produto é descartado, a etiqueta auxilia o centro de reciclagem a identificar a categoria correta para encaminhamento (passo 8).

## Transporte

O transporte é uma atividade muito importante para a logística, pois é o responsável pela movimentação dos produtos em seus diversos estágios pelos elos da cadeia de suprimentos, desde as fontes de matérias-primas até o consumidor final. O transporte é realizado por meio de vários modos, são eles: o rodoviário, o ferroviário, o aquaviário (inclui-se aqui o fluvial e o marítimo, que, por sua vez, pode ser de cabotagem ou de longo curso), o dutoviário e aeroviário. Um dos desafios relacionados a esta área funcional é decidir qual dos modos de transporte é o mais apropriado para cada tipo de necessidade. Essa decisão leva em consideração vários fatores, como: velocidade de entrega, confiabilidade da entrega, custos fixos e variáveis, deterioração da qualidade do produto, capacidade, flexibilidade da rota e adequação física ao produto. A escolha deve ponderar os diversos fatores, pois cada um deles pode influenciar negativamente outro. Por exemplo, quando se deseja velocidade



**Figura 10.5.** Exemplo de uma operação logística com a tecnologia RFID.

Fonte: Want (2004)

de entrega, o modal aéreo em geral é o mais apropriado, desconsiderando-se as limitações relativas às dimensões e ao peso, mas, por sua vez, ele implica um custo elevado. Além disso, muitos modos não estão disponíveis em determinadas regiões geográficas, o que limita o processo de escolha. Nem todas as regiões podem contar, por exemplo, com rios navegáveis ou ramais ferroviários.

É importante mencionar a relevância da intermodalidade, que é o uso de mais de um modo em uma operação. O caso da Petrolog no final deste capítulo apresenta uma operação intermodal realizada no Brasil. Quando essa integração de modos é regida por um único contrato desde a origem até o destino, atribui-se o termo específico de transporte multimodal. O responsável em cumprir esse serviço é chamado de Operador de Transporte Multimodal (OTM). No Brasil, a Agência Nacional de Transportes (ANT) é a responsável pela habilitação das empresas que desejarem se registrar como uma OTM. Caso essa empresa deseje atuar também em âmbito internacional, ela deverá se licenciar na Receita Federal.

Além de definir o modo de transporte mais apropriado, esta área funcional deve também escolher o tipo de veículo a ser usado. No caso rodoviário, fatores como distância a ser percorrida, quantidade média de mercadoria a ser transportada, número de clientes a serem atendidos e velocidade média serão decisivos para a escolha da capacidade desse veículo. O tipo de carga a ser transportada também é importante. Cargas a granel líquidas requerem um caminhão-tanque, ou então um vagão-tanque no caso do modo ferroviário. Diversos outros tipos de caminhões e vagões também existem, assim como vários tipos de aviões, dutos, navios e barcas.

Outra questão importante do transporte está relacionada com a definição de rotas a serem percorridas (a roteirização). Novaes (2004) define o problema de roteirização por três fatores fundamentais: decisões, objetivo e restrições. As decisões dizem respeito à alocação de um grupo de clientes, que devem ser visitados, a um conjunto de veículos e respectivos condutores, envolvendo também a programação e o seqüenciamento das visitas. O objetivo da roteirização visa proporcionar um serviço de alto nível aos clientes com um baixo custo operacional e de capital. As restrições estão relacionadas à necessidade de completar rotas com os recursos disponíveis, mas cumprindo os termos assumidos com os clientes (horários, quantidades etc.). Além disso, deve-se respeitar os limites de tempo impostos pela jornada de trabalho das pessoas envolvidas (motoristas, ajudantes, pilotos, condutores etc.) e as restrições de trânsito (velocidade máxima, horários de carga/descarga, tamanho máximo dos veículos nas vias públicas, mão das vias etc.).

Novaes (2004) também divide os métodos de roteirização em três grupos. O primeiro grupo é a roteirização sem restrições, em que a separação dos clientes por roteiros já foi realizada previamente, e as restrições de tempo e de capacidade estão resolvidas. Vários métodos de computação fácil são oferecidos para construir um roteiro inicial e para depois melhorá-lo. O segundo grupo é a roteirização com restrições, podendo-se destacar nesse grupo os métodos de Varredura e de Clarke e Wright. Muitas vezes é necessária a divisão da região do problema em vários bolsões de entrega de forma a atender as restrições impostas. O terceiro grupo se refere aos casos em que as visitas estabelecidas em um roteiro não sejam realizadas de forma constante, pois os clientes nem sempre emitem pedidos regulares. Nesse caso, é aconselhada a criação de roteiros que incorporem as probabilidades de ocorrência dessas visitas.

## Estoque

O estoque é apontado por muitos como o grande vilão da logística, porém ele tem uma grande importância para a logística, sendo o seu excesso o grande problema. O estoque é considerado responsável por um a dois terços dos custos logísticos, e sua presença pode esconder vários problemas e deficiências, como arranjo físico inadequado, falta de qualidade da matéria-prima, falha no suprimento, longo *lead-time* de entrega, retrabalhos e quebras de equipamentos. O que se deve buscar é a redução dos custos de capital associados ao excesso do estoque e dos problemas que surgem com a diminuição de seu nível ao longo da cadeia e do aumento do giro de estoque (movimentação anual/estoque médio). O estoque continua com uma grande importância na logística, sendo o responsável pelo equilíbrio entre a oferta e a demanda, porém não deve ser utilizado abusivamente.

Como exemplos de tipos de estoques pode-se citar o estoque de segurança, estoque de proteção, estoque de antecipação e estoque em trânsito, conforme mencionado no Capítulo 5. Os três primeiros tipos de estoque devem ser bem calculados de forma a não serem superestimados, mas eles sempre têm um certo grau de risco associado. Já o estoque em trânsito é relacionado ao tempo em que a mercadoria fica retida no processo de transferência entre os elos da cadeia. A sua redução é possível através de melhorias na integração da cadeia, como fazendo um caminhão permanecer menos tempo em uma fila para descarregar em uma doca.

Conforme visto na Seção 10.1.1, a disponibilidade de estoque para atender à demanda do cliente é um aspecto que pode ser muito relevante para o nível de serviço prestado. Em um primeiro momento, poderia parecer um sonho para o cliente ver o seu fornecedor com um nível de estoque muito elevado que pudesse garantir sempre o seu atendimento. Por um lado, isso poderia parecer que o fornecedor está proporcionando um elevado nível de serviço, o que nem sempre é economicamente viável e possível de ser replicado para todos os demais clientes. Por outro lado, isso acarretaria um custo adicional que nem sempre o cliente estaria disposto a pagar em troca desse maior nível de serviço. Claro que isso implica no SLA (*Service Level Agreement*) estabelecido entre o cliente e o fornecedor, além de uma segmentação desses clientes por parte do fornecedor priorizan-

do os clientes estratégicos. Um raciocínio semelhante pode ser feito agora sob a perspectiva do produto em estoque. Assim como os clientes, os produtos também apresentam características distintas. Em geral, produtos estratégicos e lucrativos têm necessidade de uma alta disponibilidade. Uma alternativa para o elevado nível de estoques desses produtos é o uso da tecnologia de informação e o desenvolvimento de parcerias na cadeia para permitir uma reposição eficiente e contínua. A Figura 10.6 apresenta um exemplo desse tipo de reposição. O cliente vai ao supermercado comprar uma mercadoria. Ao passar no caixa às 10h da manhã, essa mercadoria é lida pelo leitor óptico de código de barras, e a informação da venda é transmitida para a base de dados desse varejista, resultando na baixa de uma unidade do produto no inventário. A informação das vendas desse produto acumulada ao longo do dia é transmitida periodicamente (podendo ser via EDI) para os computadores centrais do varejista e do fornecedor. No final do dia, o fornecedor prepara na expedição de sua fábrica um palete específico para suprir o que foi consumido nesse dia na gôndola do supermercado. O mesmo procedimento é feito para os demais pontos-de-venda em relação a esse produto. Às 24h, o caminhão sai da fábrica com o palete com destino ao Centro de Distribuição (CD) do varejista, chegando às 3h da manhã. Como o produto já estava sendo esperado, a carga atravessa rapidamente o CD até chegar na doca de expedição (*cross docking*), onde há um caminhão sendo carregado para o ponto de venda com outras mercadorias que já estavam armazenadas no CD. Às 4h da manhã, esse segundo caminhão deixa o CD rumo ao supermercado, aonde chega uma hora depois. Ao ser descarregado, o produto vai direto para a gôndola, fechando, assim, o ciclo de reposição. Esse sistema de reposição de estoque ainda é sofisticado e caro, o que faz com que apenas algumas mercadorias tenham esse tipo de solução.

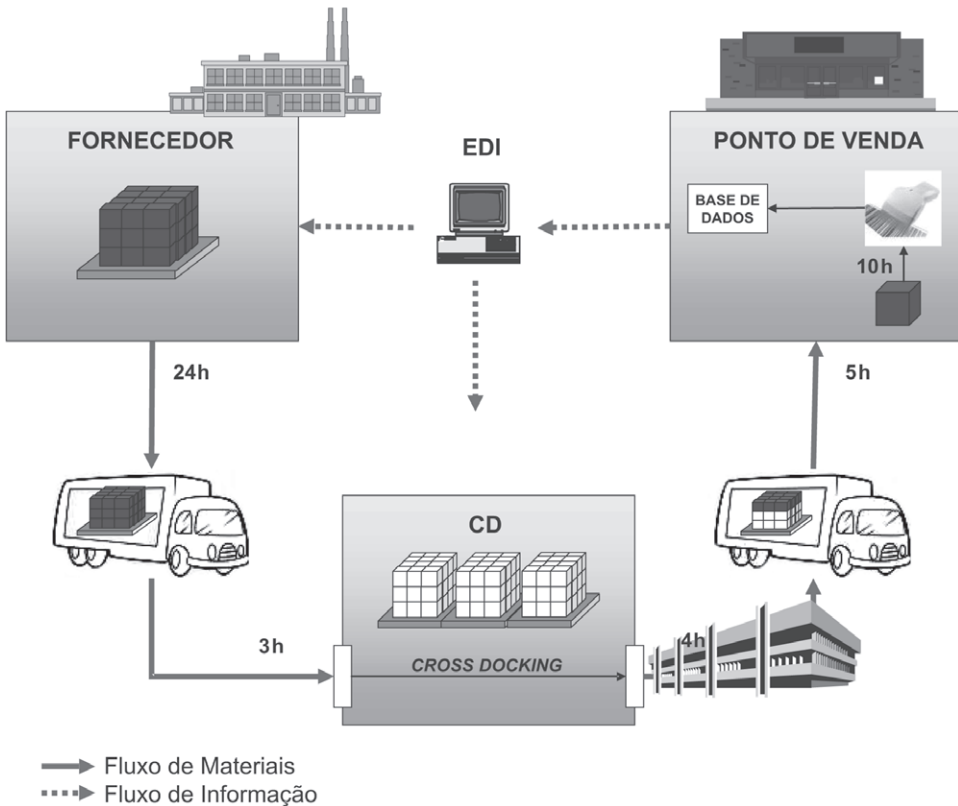


Figura 10.6. Reposição eficiente e contínua.

As diversas decisões relacionadas ao estoque, como quanto pedir, quando pedir e quanto manter em estoques especiais (por exemplo, segurança) são temas abordados no Capítulo 5. Já a decisão relacionada a onde localizar na cadeia esses estoques (nos pontos-de-vendas, nos CDs, nos depósitos das fábricas) é tratado na Seção 10.2.

### Armazenagem

Uma vez que existem produtos em estoque, estes devem ser preservados de forma a garantir as suas condições de venda e consumo ao longo de sua vida útil, o que é feito por meio de uma armazenagem adequada.

Apesar de serem freqüentemente confundidos, os custos de armazenagem são bem diferentes dos custos de estoque. Este último está atrelado diretamente ao produto, como no custo financeiro do capital empatado/custo de oportunidade e no risco de obsolescência. O custo de armazenagem, por sua vez, está voltado para as atividades necessárias à manutenção do estoque, o que inclui, por exemplo, os custos relacionados com:

- a área na qual o estoque está depositado (por exemplo, aluguel do depósito ou impostos territoriais);
- os equipamentos que manuseiam esse estoque (por exemplo, empilhadeiras e elevadores de carga);
- a infra-estrutura para “guardar” esses produtos (por exemplo, prateleiras e refrigeradores);
- os sistemas de informação gerenciais necessários para gerir o armazém (por exemplo, WMS);
- a energia e a mão-de-obra utilizadas, entre outras fontes de custos.

As principais decisões atreladas a esta área funcional são o dimensionamento da área necessária, a elaboração do arranjo físico do armazém e de suas docas para recebimento e expedição, a seleção dos equipamentos de manuseio, das embalagens e das tecnologias de informação que serão utilizados e a definição do tipo de endereçamento. Este tipo pode ser fixo (os produtos são colocados sempre nos mesmos lugares/endereços, o que proporciona uma gestão simples), variável (os produtos têm posições distintas no armazém, o que é importante para otimizar o uso do espaço) e híbrido (mistura entre fixo e variável). É importante que essas decisões sejam tomadas em conjunto de forma integrada. De nada adianta uma estrutura de arranjo físico com locais para armazenagem com alturas muito elevadas com o intuito de aproveitar a altura para reduzir os custos de ocupação da área (verticalização dos estoques), se os equipamentos de manuseio não têm capacidade para alcançar os produtos que estejam no topo das prateleiras. Um outro exemplo da necessidade da tomada de decisão de forma integrada é o uso do endereçamento variável atrelado à tecnologia de informação escolhida. No endereçamento variável os produtos podem ser alocados em diversos espaços livres disponíveis no armazém, o que, por um lado, possibilita um melhor uso da área, mas, por outro, requer um sistema de informação que possa manter o registro de localização desses produtos como códigos de recuperação e sistemas de gerenciamento de armazéns eficazes (WMS, por exemplo).

Um projeto de armazenagem deve buscar, baseado nessas decisões, uma movimentação rápida, segura, flexível e de baixo custo, com aproveitamento das três dimensões do local, uma fácil identificação do produto com suas características (quantidades, validades, data de recebimento, lote) sem comprometer as condições de venda e de consumo do produto.

Vale lembrar que o projeto de rede define o número e os locais das instalações logísticas que serão responsáveis pela armazenagem do estoque ao longo da cadeia. Esses locais podem ser, por exemplo, depósitos instalados nas próprias fábricas, ou armazéns localizados entre as fábricas e os clientes. O Centro de Distribuição é um armazém que possibilita a obtenção de economias de transporte (permite o recebimento de grandes carregamentos consolidados) e a entrega aos clientes de pedidos de distintos fornecedores combinados em um único carregamento. O projeto de rede também define o que deverá ser executado nas instalações logísticas. Para o caso do armazém, essa execução tra-

dicionalmente se divide em recebimento, manuseio/endereçamento, armazenagem, separação/*picking* e expedição. Além disso, podem ser feitas nesses armazéns inspeções, etiquetagens, embalagens especiais, submontagens e operações de *cross-dock*.

### Manuseio de materiais

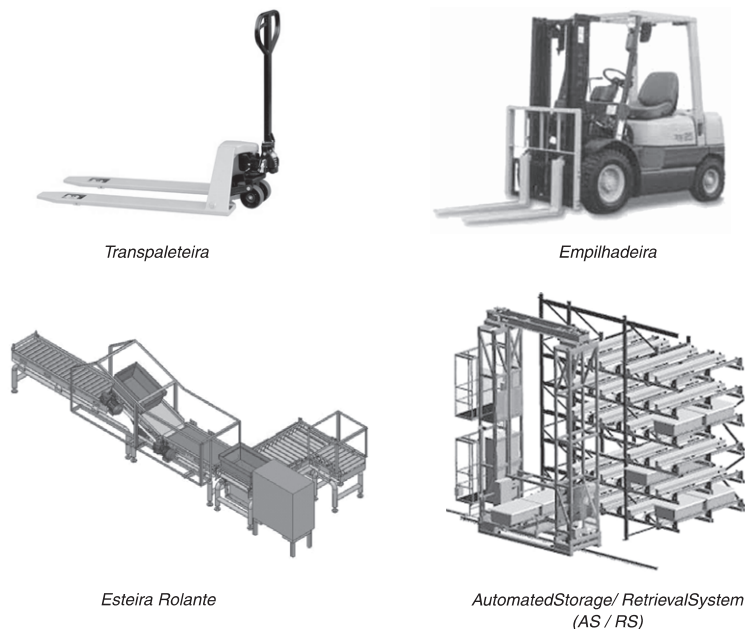
O manuseio de materiais se distingue do transporte por ser realizado em pequenas distâncias com a movimentação de pequenas unidades. Além disso, enquanto o transporte faz a conexão do fluxo de materiais entre os elos da cadeia, o manuseio é geralmente realizado dentro de cada elo. O manuseio também é importante para as operações de carga e descarga existentes nos diversos modos de transporte e nos pontos de transbordo. Apesar das diferenças com a atividade de transporte, existem similaridades, como em questões relacionadas a roteirização e tecnologia embarcada no veículo, itens importantes para o manuseio em grandes depósitos, armazéns ou centros de distribuição.

O manuseio de materiais deve ser realizado de forma a manter a integridade do produto e a evitar perdas ao longo da execução da atividade, pois, mesmo sendo responsável por pequenos movimentos, pequenas perdas repetidas por várias vezes, se somadas, podem causar um elevado impacto nos custos.

Os equipamentos para manusear materiais podem ser divididos em manuais, em que a movimentação está associada à capacidade física do operador (por exemplo, transpaleteira), mecânicos (como empilhadeira) e automáticos, em que a movimentação é feita de maneira totalmente automatizada – não existe a presença humana (por exemplo, sistemas automatizados de armazenagem e recuperação – *Automated Storage/Retrieval System* – AS/RS). A Figura 10.7 apresenta alguns equipamentos de manuseio.

### Embalagem

A embalagem é bem conhecida por sua importância no marketing. Cores e desenhos podem atrair a atenção dos consumidores para alguns produtos, diferenciando-os de outros nas gôndolas dos supermercados, por exemplo. A embalagem também é importante por conter informações que atendam a aspectos legais, como a composição do produto e dados sobre o serviço de atendimento ao cliente, e



**Figura 10.7.** Exemplos de equipamentos de manuseio.



que facilitem o “descarte” da embalagem usada. No que se refere à logística, a embalagem também tem uma importante função. Ela é um envoltório aplicado ao produto fundamental para preservá-lo e protegê-lo (segurança antifurto; proteção climática: tempo, temperatura, umidade; proteção mecânica: choques, vibrações), de modo a facilitar e otimizar o espaço útil no seu manuseio, na sua armazenagem e no seu transporte, e para conter informações de identificação do produto, de legislações específicas e sobre a natureza do produto (perecibilidade, fragilidade, periculosidade e dimensões e pesos especiais). Em relação à sua natureza, existem marcações e símbolos mundialmente conhecidos expostos na embalagem, como o cálice para indicar produto frágil, a caveira para indicar produto perigoso, a chama para indicar produto inflamável, entre outros que ainda podem indicar restrições de temperatura, grau de empilhamento máximo e sentido para o posicionamento correto da embalagem. A Figura 10.8 apresenta alguns símbolos de manuseio utilizados na logística. As embalagens também podem conter códigos de identificação, fundamentais para o gerenciamento do fluxo de informação do produto ao longo da cadeia, e dispositivos de segurança, para evitar furtos.



**Figura 10.8.** Exemplos de símbolos de manuseio.

O material da embalagem pode variar. Entre os materiais mais comuns pode-se citar o papelão ondulado, a madeira, o plástico, o isopor, a folha-de-flandres, filmes plásticos (*shrink* e *stretch*) e aço.

A embalagem que está em contato direto com o produto é comumente chamada de embalagem primária, sendo normalmente também a unidade de venda no varejo. Caso a primeira embalagem seja protegida por outra, a segunda é chamada de embalagem secundária, geralmente a unidade de venda no atacado. Podem existir outras embalagens terciárias, quaternárias e assim por diante, buscando facilitar a movimentação dos produtos ao longo da cadeia de suprimentos. Esse procedimento de agregar os produtos e as embalagens em unidades maiores de carga é conhecido como *unitização*. Com a unitização pode-se reduzir o número de volumes a ser manipulado, agilizar o processo de embarque e desembarque e diminuir as avarias.

Além de caixas, engradados e sacos, dois outros tipos de embalagens merecem destaque: o palete e o *contêiner*. A Figura 10.9 ilustra cada um deles.



palete



contêiner

**Figura 10.9.** Tipos de embalagem.

O *palete* é uma plataforma disposta horizontalmente, similar a um estrado plano, que deve ser resistente para sustentar a carga que nele será depositada e permitir a manipulação e a movimentação dessa carga, agora unitizada. Para os casos em que a manipulação é feita por meio de empilhadeiras, os paletes devem ter aberturas para que os garfos das empilhadeiras se encaixem. Além da madeira, outros materiais também podem constituir o palete, entre eles: o aço, o papelão e o plástico. Muitas vezes, os paletes são retornáveis, o que exige um esquema de logística reversa.

O *contêiner* é uma estrutura de metal, geralmente com formato de caixa padronizada, que possui ampla resistência para ser utilizado várias vezes. Além das vantagens já citadas da unitização, o *contêiner* também auxilia no transporte de produtos por um ou mais modos de transporte, sem que um recarregamento intermediário seja necessário. Uma vantagem do uso do *contêiner* é a sua padronização, pois minimiza os espaços de armazenagem e facilita o transporte. Outra vantagem da padronização é o fato de o *contêiner* poder ser “deixado” em um depósito e ser “trocado” por outro vazio ou cheio, ganhando-se o tempo de espera de carga ou descarga. A sua capacidade é mensurada em TEU (*twenty-foot equivalent units*), unidade padrão equivalente a 20 pés de comprimento. Assim, um *contêiner* de 40 pés equivale a 2 TEU. Existem vários tipos de *contêineres* disponíveis para cada tipo de necessidade, entre eles: o *standard*, o *open top* (parecido com o *standard*, porém coberto com lona na parte superior para cargas que excedem a altura normal do *contêiner*), o *open side* (parecido com o *standard*, porém coberto com lona em uma das laterais, o que facilita a carga/descarga de produtos paletizados), plataforma (sem as paredes laterais e o teto para abrigar cargas com excesso nas laterais ou na altura, o que faz com que às vezes não seja considerado no mercado como um tipo de *contêiner*), refrigerado e tanque (para cargas líquidas e gasosas).

## 10.2 DRP – PLANEJAMENTO DAS NECESSIDADES DE DISTRIBUIÇÃO

### 10.2.1 Aspectos Gerais do DRP

A sigla DRP vem do inglês *Distribution Requirements Planning*. O principal papel desta ferramenta é coletar e processar os dados necessários, ao longo de toda a cadeia de suprimentos, para melhor atender as demandas específicas de cada ponto-de-venda, através de uma programação da produção e de uma distribuição mais eficazes.

O DRP pode ser definido como um mecanismo de cálculo centralizado, que permite processar um alto volume de informações, coletadas em intervalos regulares, ou em tempo real, em cada estágio do sistema de distribuição física e que transitam dinamicamente entre os pontos de produção e consumo de cada produto. Estas informações são necessárias ao planejamento eficaz da produção e distribuição dos produtos, para melhor atender a demanda específica de cada ponto-de-venda e são, por exemplo, posições de estoque, quantidades em trânsito entre elos, embarques planejados, todos com seus respectivos períodos de tempos associados, bem como os tempos de reposição, lotes econômicos de remessa, dentre outros.

Em um mecanismo de funcionamento similar ao do MRP<sup>4</sup>, o DRP adota um tratamento de demanda dependente<sup>5</sup> para toda a cadeia de distribuição física. Isto é possível, uma vez que as demandas são estipuladas nos pontos-de-venda, ou nos elos mais próximos possível destes pontos, que se tenha informação disponível e se conhece todos os estágios percorridos por cada produto, bem como os tempos totais de reposição envolvidos, desde sua produção até sua chegada em cada ponto-de-venda.

Uma visão geral do mecanismo de funcionamento do DRP pode ser obtida, partindo-se das posições de estoque reais e das demandas independentes específicas em cada ponto-de-venda, ou dos elos mais próximos possível destes pontos, que se tenha informação disponível. Levanta-se, também, as posições reais dos estoques existentes em cada um dos elos envolvidos na distribuição. De posse destas informações, calculam-se as quantidades necessárias de ressuprimento dos produtos para cada um dos elos do sistema de distribuição física. Calculadas as quantidades de cada produto a ser enviado a cada elo, para o cálculo dos instantes de ressuprimento, o DRP utiliza os tempos de reposição (somatório dos tempos de produção e/ou transporte, espera, carga e descarga, manuseio, dentre outros), adotados para cada produto/elos da cadeia. Com base nestas informações calculadas, alimenta o MPS<sup>6</sup> com as quantidades e instantes agregados que cada produto deve estar produzido para atender a necessidade total da cadeia.

As principais finalidades do DRP são:

- a) atender com maior precisão as demandas finais específicas de cada mercadoria, em seus respectivos pontos-de-venda, através do planejamento dos instantes e quantidades de ressuprimento em cada um dos elos do sistema de distribuição física;
- b) otimizar os níveis dos estoques ao longo dos elos da cadeia, com efetiva redução do estoque global e sem perda do nível de serviço ao consumidor final, ao tratar a demanda de forma dependente por todos os elos entre os pontos de produção e consumo da mercadoria;
- c) facilitar o planejamento dos sistemas logísticos de distribuição física, proporcionando informações e visibilidade sobre todo o sistema de distribuição, o que permite economias logísticas significativas, através do melhor planejamento das necessidades de transporte e expedição em função das capacidades logísticas disponíveis;
- d) gerar informações agregadas de demanda para o planejamento da produção de cada mercadoria, bem como para o ajuste do MPS, quando ocorrem alterações da demanda, ou do *mix* de produtos nos pontos-de-venda;
- e) auxiliar no planejamento necessário à solução de situações específicas, tais como antecipação da produção com limitação de capacidade para atender um período de pico de vendas, ou a uma promoção planejada, ou para planejar o encerramento das atividades de um dos elos da cadeia, como um depósito, dentre outros.

### 10.2.2 Características de Operação do DRP

Os registros e a lógica de operação do DRP são similares aos do MRP, permitindo uma integração natural e consistente do MPS com o DRP e que a produção seja programada com maior conhecimento dos diferentes estágios do sistema de distribuição física.

O DRP parte da *demanda independente* na forma de previsões desagregadas por produto e localização, feitas pelos pontos-de-venda, ou pontos de distribuição locais, mais próximos do mercado que se tenha informação disponível. Com isto, contempla-se com maior precisão as particularidades locais de cada mercado, tais como *mix* específico de produtos comercializados, promoções, eventos, festas, feriados, dentre outros. As previsões desagregadas são entregues pelo DRP, ao sistema de

<sup>4</sup> MRP – Planejamento das Necessidades de Materiais – Capítulo 7.

<sup>5</sup> Demandas dependente e independente – Capítulo 7.

<sup>6</sup> MPS – Planejamento Mestre de Produção – Capítulo 6.

planejamento e controle da produção (PCP), já tratadas como necessidade bruta. Isto é possível, à medida que se percorre cada elo da cadeia, a partir das informações de demanda obtidas nos pontos-de-venda, ou de distribuição locais e indo em direção ao ponto de produção, calculando-se as quantidades e instantes de reposição de cada elo. Ao se alcançar o PCP, mais especificamente a entrada de informações do MPS, a informação está tratada na forma de necessidade bruta de cada produto, indicando quanto e quando cada produto deve estar pronto para atender a demanda, inicialmente obtida no ponto-de-venda, ou de distribuição mais próximo. Assim, o MPS, por sua vez, passa a operar apenas com informações de *demanda dependente* (necessidade bruta), calculadas a partir das demandas independentes, capturadas apenas na extremidade da cadeia de suprimentos, mais próxima ao consumidor final.

Assim, um dos grandes benefícios do DRP é a sua integração com o MPS e, conseqüentemente, com o MRP, pois promove a redução da incerteza das previsões das demandas que se tornariam necessárias para cada um dos diversos elos da cadeia, na ausência do DRP.

A Figura 10.10a ilustra a ação do DRP no gerenciamento dos elos da cadeia de distribuição, onde a demanda é tratada como independente apenas nos pontos-de-venda, sendo considerada dependente para os demais elos da cadeia, até a compra de insumos. Comparativamente, pode-se observar na Figura 10.10b, que caso o DRP não estivesse sendo utilizado, seria necessário fazer uma previsão da demanda total da operação produtora, sem conhecimento das características locais de cada ponto-de-venda. O mesmo procedimento seria necessário ser feito pelos centros de distribuição, no caso de desconhecerem as particularidades dos pontos-de-venda. Tão mais complexas e incertas tornam-se as previsões, quanto maior for o número de elos da cadeia de suprimentos e quanto mais elos houver entre os pontos de produção e consumo dos produtos (camadas).

Uma outra grande vantagem da gestão integrada da cadeia fornecida pelo DRP está no planejamento do sistema logístico. Este é feito com base no planejamento das reposições futuras necessá-

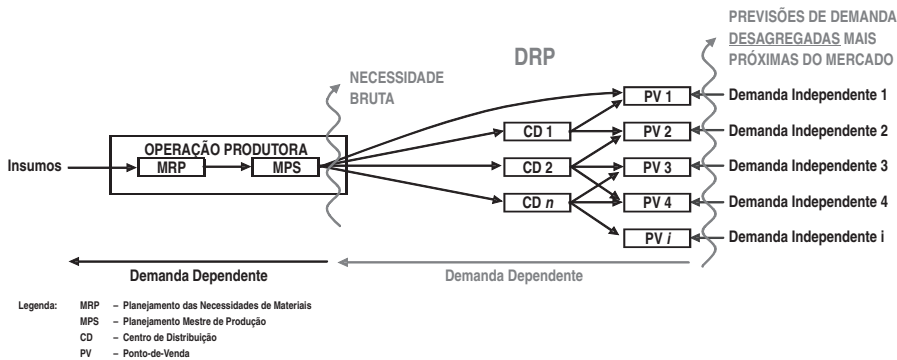


Figura 10.10a RP gerenciando a cadeia de suprimentos (demanda *dependente*).

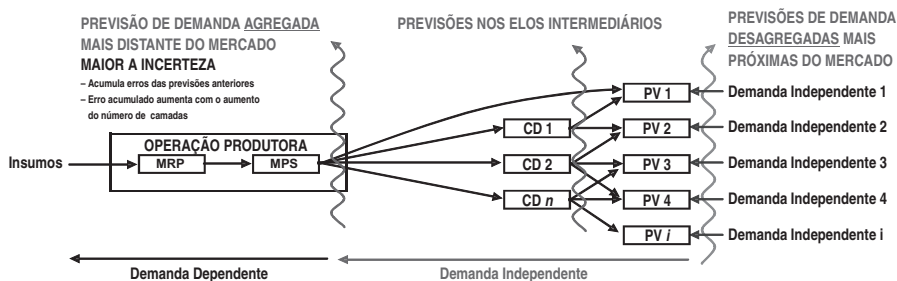
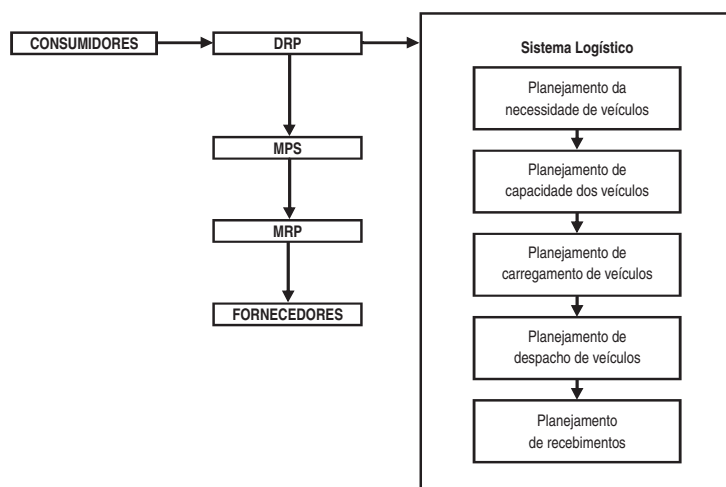


Figura 10.10b Cadeia de suprimentos não gerida pelo DRP (demanda *independente*).

rias de cada produto, em cada elo, fornecidas pelo DRP, conforme ilustra a Figura 10.11. Este planejamento é dinâmico e continuamente ajustado, para refletir as condições correntes informadas pelo DRP.

Assim, as quantidades de carga a serem movimentadas entre elos, com suas respectivas datas, informadas pelo DRP são alimentadas nos módulos do sistema logístico para realizar os seguintes planejamentos: a) *planejamento da necessidade de veículos* – visa determinar quando e quantos modais, que podem ser veículos que serão necessários; b) *planejamento de capacidade dos veículos* – visa determinar qual deverá ser a capacidade (tamanho) que cada um dos veículos a serem utilizados deverá ter; c) *planejamento do carregamento de veículos* – visa determinar qual a taxa de ocupação com carga que deverá e/ou poderá ser utilizada em cada veículo, dependendo do tipo de carga, bem como a ordem de carregamento das mercadorias, para facilitar o descarregamento nas paradas intermediárias até o destino final; d) *planejamento de despacho de veículos* – visa determinar os instantes de início do carregamento e de saída do veículo, de modo que se possa cumprir a programação de distribuição planejada pelo DRP; e) *planejamento de recebimentos* – visa determinar os instantes de início de recebimento de cada veículo, nos pontos de destino intermediários, ou finais, de modo que se possa cumprir a programação de distribuição planejada pelo DRP, sem comprometer os níveis de serviço esperados para os consumidores finais.



**Figura 10.11** Fluxo de informações para o planejamento do sistema de distribuição física.

Muitas empresas, que não operam os elos de sua cadeia com uma gestão integrada, como a proposta pelo DRP, utilizam pontos de pedidos, com reposição, ou remessa de lotes econômicos<sup>7</sup>. Para tanto, monitoram os níveis dos estoques de seus produtos, e assim que eles atingem o nível mínimo, que indica necessidade de ressuprimento (ponto de pedido), uma quantidade fixa para o reabastecimento do estoque é solicitada. Este tipo de gestão de reposição de produtos é feita de forma independente em cada elo da cadeia, sem uma visão geral dos demais itens que transitam no próprio elo, nem, tampouco, dos demais elos da cadeia. Assim, o reabastecimento não leva em consideração, por exemplo, os níveis de estoque, nem os pedidos feitos ou a serem feitos dos demais itens dentro do próprio elo, o que impossibilita uma gestão logística eficiente tampouco considera um planejamento da produção mais ajustado às necessidades reais de demanda, como ocorre no caso do DRP. Uma outra limitação do método de reabastecimento por atingimento do ponto de pedido é que ele assu-

<sup>7</sup> Estoques – Capítulo 5.

me que a demanda é constante ao longo do tempo. Logo, as variações da demanda não são tratadas por este método, fato que já não ocorre com o DRP. Assim, quando há grandes variações de demanda, as diferenças de eficácia entre os controles realizados pelo método de reabastecimento por atingimento do ponto de pedido e o DRP se intensificam.

10.2.3 Mecanismos de Cálculo do DRP

A integração do DRP com o MPS é realizada utilizando-se as técnicas de explosão do MRP. Para tanto, pode-se considerar que cada produto acabado, isto é, cada item de estoque, ou SKU (Stock Keeping Unit), apenas está realmente acabado quando colocado na localização, ou elo da cadeia mais próximo do cliente final de que se tem informação. Desta forma, cada elo da cadeia por onde este SKU transita, entre o término de sua fabricação, até sua chegada a este elo da cadeia mais próximo do cliente final, deve ser considerado como se fosse uma fase a mais no processo de produção. Esta “expansão” da lista de materiais<sup>9</sup> passa a definir como novo nível zero o SKU neste elo mais próximo do cliente final.

A Figura 10.12 ilustra a interação do MRP, MPS e DRP. A produção do produto acabado X é programada no nível do MPS, utilizando a necessidade bruta do item X (momento e quantidade que o item deve estar pronto) informada pelo DRP, conforme descrito no subitem anterior. Uma vez definida a necessidade bruta do item X, através das quantidades disponíveis em estoque e dos respectivos tempos de reposição de cada intermediário, e da lista de materiais do item X, o MRP planeja a reposição de materiais para a produção do mesmo. Uma vez que o item X esteja pronto, na localização onde foi produzido, pode-se considerar as demais localizações, ou elos da cadeia de distribuição, como sendo mais uma fase do processo produtivo. Isso permite que o tratamento dado aos componentes do item X, durante o seu processo produtivo, seja estendido ao produto acabado ao longo do seu processo de distribuição. Assim, o produto X em duas localidades diferentes seria visto como dois produtos diferentes de composições idênticas. O tempo total de transporte, até sua disponibilização no próximo elo da cadeia, por onde ele é distribuído, passa a ser considerado como o tempo de reposição entre estes elos de origem e destino. O processo se repete por tantos elos quanto o produto X passar, durante a sua distribuição física até o ponto-de-venda.

Para ilustração do mecanismo de cálculo do DRP será considerado o produto X no Depósito 1, conforme ilustra a Tabela 10.1, que analogamente corresponde a um SKU qualquer em um CD, armazém local, depósito externo, dentre outros possíveis elos de sua cadeia de suprimentos.

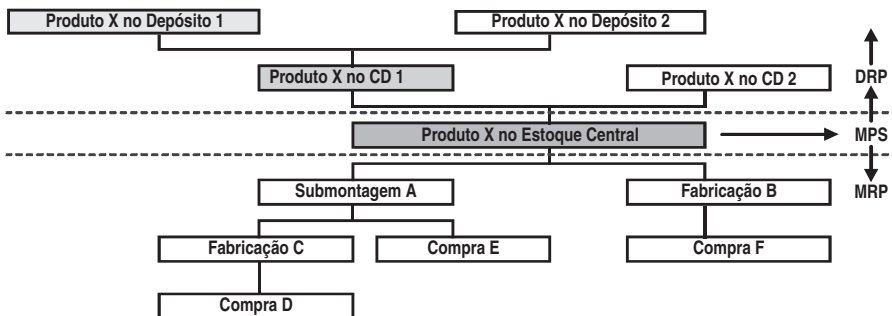


Figura 10.12 Interação MRP, MPS e DRP.

<sup>9</sup> Lista de materiais – Capítulo 9.

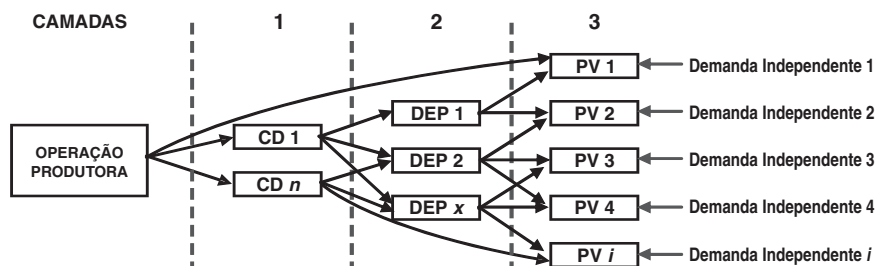
**Tabela 10.1** Registro do DRP em um dos elos da cadeia de suprimentos do item X.

DEPÓSITO 1		Item: X	Lote: 50					
		Descrição:	Tempo de Reposição: 2					
			Estoque de Segurança: 25					
ITENS DE CONTROLE		PERÍODOS						
		1	2	3	4	5	6	7
Necessidades Previstas		25	30	30	30	30	35	35
Em Trânsito			50					
Estoque Disponível / Projetado	55	30	50	70	40	60	25	40
Recebimentos Planejados				50		50		50
Embarques Planejados		50		50		50	ND	ND

O DRP é calculado em períodos de tempo, ou “*blocos de tempo*”, que podem ser parametrizados como dias, semanas, quinzenas, dentre outros períodos de interesse e que, no presente caso, estão apenas indicados de 1 a 7, sendo que o sétimo período delimita o horizonte de planejamento. Isto é, horizonte de planejamento é o número de períodos de tempo futuros em que se pode visualizar o planejamento e, por conseguinte, em que se tem visibilidade do processo de distribuição.

A origem das informações contidas na primeira linha, *Necessidades Previstas*, vai depender da camada da cadeia de distribuição em que o elo em questão se encontra. Na Figura 10.10, por exemplo, havia duas camadas. Os centros de distribuição estavam na segunda e os pontos-de-venda na primeira. Na Figura 10.13, por exemplo, os centros de distribuição (CDs) estão na terceira camada, há depósitos na segunda camada e os pontos-de-venda (PVs) estão na primeira camada. Poderia haver outras camadas intermediárias nessa cadeia exemplificada, antes de se atingir o mercado. Assim, se o elo em questão for a última fonte de informação que se tenha dentro dos elos controlados pelo DRP, antes de se atingir o mercado, então, nesse elo, as informações de necessidades previstas serão obtidas por técnicas de previsão de demanda<sup>9</sup>. Todavia, se o elo em questão for intermediário, independentemente de sua camada e que esteja entre a operação produtora e um outro elo qualquer já controlado pelo DRP, então ele terá demanda dependente. Logo, as informações de suas necessidades brutas serão originárias dos embarques planejados do(s) elo(s) que estiverem na camada imediatamente seguinte àquela em que ele se encontra.

No exemplo da Tabela 10.1, pode-se observar que está havendo uma tendência de aumento da demanda, pois no primeiro período foi prevista uma necessidade de 25 unidades. Já do segundo


**Figura 10.13** Agrupamento dos elos de uma cadeia em camadas, a partir do ponto-de-venda.

<sup>9</sup> Previsão de Demanda – Capítulo 6.

ao quinto período houve uma previsão de 30 unidades para cada período. Essa previsão tornou a ser aumentada no sexto e sétimo períodos para 35 unidades a serem consumidas em cada um. Supondo que a cadeia de distribuição do item X é a indicada pela Figura 10.13, pode-se concluir no exemplo da Tabela 10.1 (item X no CD1) que essa necessidade bruta resultante para o item X é o somatório das demandas reais dos elos seguintes coletadas o mais próximo possível do mercado. Logo, pode-se considerar que, em algum dos elos houve informação de aumento de demanda de um ou mais pontos-de-venda específicos. Fato retratado pelo aumento da necessidade prevista deste item no CD1.

A segunda linha contém as informações de quantidade e período de tempo em que cada uma das remessas que estão *Em Trânsito* chegará ao elo em questão. No exemplo da Tabela 10.1 estão programadas para chegar 50 unidades de X no segundo período. Todavia, para que essas 50 unidades estejam disponíveis para uso no segundo período, o *Tempo de reposição* deverá ser o somatório de todos os tempos envolvidos desde a colocação do seu pedido de reposição para o elo fornecedor, até a sua completa disponibilização no elo em questão. Assim, o tempo de reposição deverá englobar o tempo necessário de separação, carga e remessa do item oriundo do elo fornecedor, mais o tempo de transporte entre elos, mais os tempos necessários para descarga e disponibilização no estoque do elo em questão para ser consumido, além de todos os tempos de espera previstos associados ao processo. É fundamental que este parâmetro seja adotado o mais próximo da realidade, assim como todos os demais parâmetros que alimentam o DRP. Se dados que não retratam a realidade forem inseridos no sistema, resultados indesejados, e muitas vezes absurdos, serão obtidos.

O tempo de reposição é um dos três parâmetros indicados no cabeçalho da Tabela 10.1. No presente caso ele informa que se despendem dois períodos, entre o início da remessa e a total disponibilização da quantidade solicitada no elo em questão. As quantidades a serem solicitadas, por sua vez, correspondem a múltiplos da quantidade informada no parâmetro *Lote*, que no presente exemplo é de 50 unidades de X e também se encontra no cabeçalho. Os lotes são calculados em função das quantidades econômicas<sup>10</sup> de transporte, ou empacotamento. Assim, as quantidades solicitadas, podem ser de 50, 100, 150 unidades, dentre outros múltiplos do lote econômico informado e correspondem aos *Recebimentos Planejados*, que são calculados através do monitoramento do *Estoque Projetado*.

A terceira linha contém duas informações. A primeira é a do *Estoque Disponível* no início do primeiro período, que se encontra destacado à esquerda do mesmo. No presente caso, o saldo inicial em estoque, ou estoque inicial disponível, é de 55 unidades. A segunda informação é a do *Estoque Projetado*, cujo monitoramento determina o instante e a quantidade dos recebimentos planejados. O monitoramento do estoque é feito confrontando-o com o *Estoque de Segurança*, informado no cabeçalho. Toda vez que o somatório do estoque do período anterior, com a quantidade em trânsito a ser recebida em um determinado período, não for suficiente para atender as necessidades previstas deste período e ainda restar, no mínimo, uma quantidade igual à do próprio estoque de segurança, então, será necessário planejar um recebimento. Como já dito, cada recebimento poderá ser um múltiplo qualquer de um lote. Assim, planeja-se receber o mínimo de lotes necessários, de modo que, ao se atender a necessidade prevista, reste em estoque, no mínimo, uma quantidade igual à do próprio estoque de segurança.

A quinta e última linha da Tabela 10.1 contém a informação dos *Embarques Planejados*. Essa informação está sempre associada a um recebimento planejado, defasada, em antecipação, de tantos períodos quantos compuserem o tempo de reposição. Assim como o tempo de reposição é de 2 períodos, no primeiro período, por exemplo, está se planejando o embarque de 50 unidades, de modo que o recebimento planejado do terceiro período seja atendido. A sigla “ND” que aparece nos embarques planejados dos períodos 6 e 7 significa que as informações ainda estão “*Não Disponíveis*”,

<sup>10</sup> Estoques (lote econômico) – Capítulo 5.



**Tabela 10.2** Dados necessários para o cálculo do DRP.

DEPÓSITO 1		Item: X		Lote: 50		Tempo de Reposição: 2		
		Descrição:		Estoque de Segurança: 25				
ITENS DE CONTROLE		PERÍODOS						
		1	2	3	4	5	6	7
Necessidades Previstas		25	30	30	30	30	35	35
Em Trânsito			50					
Estoque Disponível / Projetado	55							
Recebimentos Planejados								
Embarques Planejados								

pois para que elas estivessem disponíveis seria necessário ter informação dos recebimentos planejados dos períodos 8 e 9. Todavia, estes períodos, no presente caso, estão fora do horizonte de planejamento.

Para o melhor entendimento desta tabela, é fundamental a compreensão de que ela trata informações do presente, passado e futuro. Os cálculos do estoque projetado e dos recebimentos planejados são feitos a partir das informações de necessidade prevista, em trânsito e estoque disponível. A necessidade prevista é oriunda de uma previsão de demanda futura, realizada no atual elo, ou em outros elos, que transacionam com este e que se localizem mais próximos ao mercado. Já as quantidades em trânsito e estoque disponível são resultantes de movimentações passadas. Já o período 1 corresponde ao presente, período atual. Assim, a Tabela 10.2, ilustra a situação que se teria, caso se fosse realizar os cálculos do DRP para este elo, e a Figura 10.12 ilustra, detalhadamente, todo o mecanismo de cálculo, descrito a seguir.

A Tabela 10.3 ilustra o mecanismo de cálculo do DRP, descrito a seguir. O estoque inicial de 55 unidades do período 1 corresponde ao estoque real final do encerramento do período anterior. Não há quantidade em trânsito programada para chegar no atual período. Como o tempo de reposição é de 2 períodos, para que houvesse alguma quantidade programada para chegar nesse período seria necessário que o mesmo tivesse sido autorizado há dois períodos atrás. A necessidade prevista para esse período é de 25 unidades. Logo, o estoque projetado para o final desse período é de 30 unidades ( $=55+0-25$ ).

No segundo período, que já representa um momento futuro, pois o momento presente está ocorrendo no período 1, tem-se uma necessidade prevista de 30 unidades e uma quantidade em trânsito programada para chegar de 50 unidades. Como o estoque projetado recém-calculado do primeiro período é de 30 unidades, o estoque projetado do segundo período será de 50 unidades ( $=30+50-30$ ). Novamente, observa-se que para haver a chegada, nesse segundo período, de 50 unidades que estavam em trânsito, é necessário que o envio das mesmas tenha sido autorizado no período anterior ao que representa o presente momento. O presente momento é o primeiro período. Observa-se que o segundo período está sendo calculado, mas ainda é futuro.

Toda vez que o estoque projetado ficar abaixo do estoque de segurança, significa que se deve planejar um recebimento, de modo que após atender a demanda, o estoque projetado fique, no mínimo, igual ao estoque de segurança. Supondo, por exemplo, que não houvesse quantidade em trânsito programada para ser recebida no segundo período. O estoque projetado desta segunda semana passaria a ser 0 ( $=30+0-30$ ). Todavia, como o tempo de reposição é de dois períodos, não adiantaria tentar planejar um recebimento para o período 2, pois não daria tempo. Lembre-se de que o presente momento está ocorrendo no período 1 e caso o recebimento seja programado no período 1 ele apenas chegará 2 períodos depois, isto é, no período 3. Eis o motivo da mudança do mecanismo de cálculo do estoque projetado, indicado entre os períodos 2 e 3.

Tabela 10.3 Detalhamento do mecanismo de cálculo do DRP.

DEPÓSITO 1		Item: X		Lote: 50		Tempo de Reposição: 2		Estoque de Segurança: 25	
		Descrição:							
ITENS DE CONTROLE		PERÍODOS							
		1	2	3	4	5	6	7	
Necessidades Previstas		25	30	30	30	30	35	35	
Em Trânsito		(-)	(-)	=	=	=	=	=	
Estoque Disponível / Projetado		55	30	50	70	40	60	25	40
Recebimentos Planejados				(+)	(-)	(-)	(+)	(-)	(+)
Embarques Planejados		50		50		50	ND	ND	

Essa situação pode vir a ocorrer na vida real, quando a necessidade verdadeiro for maior do que a prevista. Felizmente não houve falta e é para isso que o estoque de segurança serve. Para ser usado quando necessário. Se ele nunca é usado, fica uma reflexão: é por que ele não é necessário! Estoque de segurança tem que ser usado, pelo menos de vez em quando!

Os dimensionamentos dos estoques de segurança são feitos através da determinação de níveis de serviço desejados. Os níveis de serviço correspondem ao cálculo estatístico do número esperado de vezes que se admitirá haver faltas, dentro de um total de entregas. Não se deseja que haja faltas, todavia, há casos em que, ao analisar o comportamento da demanda, do suprimento e da distribuição, encontram-se oscilações de valores. Como os comportamentos dessas informações oscilam acima e abaixo de valores médios, geram-se incertezas da quantidade real disponível e/ou demandada. Ao se analisar a distribuição das ocorrências desses valores acima e abaixo da média, dimensiona-se o estoque de segurança, para que, por exemplo, 95% das situações sejam atendidas. A pergunta é: porque não dimensionar para que não haja falta? Ocorre que, ao analisar uma distribuição das ocorrências do comportamento da demanda, por exemplo, em geral, encontraremos um gradiente que vai desde um grande número de ocorrências com pequenas variações acima e abaixo da média, até raríssimas situações, quando não únicas, de enormes variações acima ou abaixo da média. Assim, seria preciso manter um estoque de segurança muito grande e, conseqüentemente, com um custo muito elevado, dependendo do produto, para que nunca houvesse falta. Estipula-se um nível de serviço que cubra uma grande maioria das situações, determinando-se o nível de serviço desejado, mas que não torne a operação economicamente desvantajosa. Essa é uma análise de compensação entre nível de serviço e custo esperado. Maiores informações sobre o dimensionamento dos estoques de segurança podem ser encontrados no Capítulo 5, que trata sobre estoques.

Ao tratar da questão de nível de serviço, vale a pena observar que o estoque de segurança deve ser dimensionado para as situações em que ocorra variação na demanda. Todavia, quando houver incerteza quanto às datas de recebimento, ou de fornecimento, deve-se trabalhar com tempo de segurança. Isto é, deve-se analisar os atrasos gerados no recebimento, ou fornecimento da mercadoria, e antecipá-los para um período que reduza a probabilidade de falta, de modo a atingir um nível de serviço desejado.

No terceiro período (futuro), tem-se uma necessidade prevista de 30 unidades e não há quantidade alguma em trânsito programada para chegar. Assim, se forem abatidas das 50 unidades do estoque projetado do período anterior (segundo período) as 30 unidades da necessidade prevista do período 3, restarão apenas 20 unidades. Essa quantidade é inferior à do estoque de segurança, que é de 25. Logo, conclui-se que é preciso planejar um novo recebimento para que o estoque projetado do terceiro período, fique, no mínimo, igual ao estoque de segurança. Como o lote econômico de transferência entre o elo anterior e este é de 50 unidades, e elas são suficientes para atender a condi-

ção necessária imposta, basta que apenas o recebimento de um lote seja planejado. Assim, o estoque projetado do terceiro período passará a ser de 70 unidades (=50 +50-30). Os demais períodos são calculados mantendo-se esta mesma lógica.

Por que há a mudança do mecanismo de cálculo do estoque projetado, indicado entre os períodos 2 e 3 da Tabela 10.3? Ocorre que, sendo o tempo de reposição de 2 períodos, a partir do terceiro período não é possível mais haver quantidades em trânsito “progamadas” para serem recebidas! Lembre-se de que o presente momento está ocorrendo no período 1. Assim, para que qualquer quantidade possa chegar ao período 3, ela deve ser “planejada” no período 1. Quando o período 1 terminar, deixando de ser presente e tornando-se passado, ele sai do campo de visão do planejador. Caso tenham sido autorizadas as 50 unidades “planejadas”, que se encontravam no embarque planejado do primeiro período, essa quantidade deixará de ser um embarque planejado e passará a ser um recebimento “programado”, conforme ilustra a Tabela 10.4. O recebimento programado, fazendo uma analogia com a metodologia do MRP, corresponde à quantidade em trânsito programada para ser recebida pela metodologia do DRP.

**Tabela 10.4** Quando a informação do recebimento planejado muda para “em trânsito”.

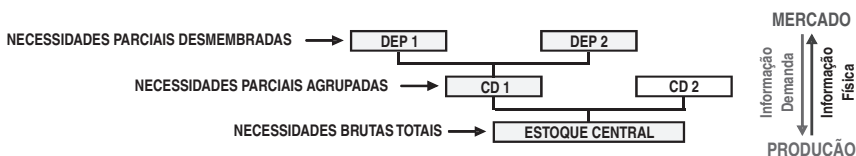
DEPÓSITO 1		Item: X	Lote: 50						
		Descrição:	Tempo de Reposição: 2						
			Estoque de Segurança: 25						
ITENS DE CONTROLE		1	PERÍODOS						
			2	3	4	5	6	7	8
Necessidades Previstas			30	30	30	30	35	35	35
Em Trânsito			50	50	=				
Estoque Disponível / Projetado	30		50	70	(+) 40	60	25	40	55
Recebimentos Planejados				50	(-)	50		50	50
Embarques Planejados		50		50		50	50	ND	ND

← Passado    Presente    Futuro →  
 Programação    Execução    Planejamento

### 10.2.4 Interação entre os Diferentes Elos da Cadeia

No MRP, em um processo denominado *explosão*, os registros de cada produto acabado são desmembrados nos diversos registros de seus componentes. Analogamente, no DRP há um processo denominado *implosão* em que os registros dos embarques planejados dos elos mais próximos do mercado são passados para os elos mais próximos da produção. Assim, as informações de demanda pulverizadas, obtidas próximo ao mercado, vão sendo agregadas, ou “implodidas”, enquanto percorrem a cadeia de distribuição física, até gerar a necessidade bruta de produção de cada item no MPS, no local de sua produção, conforme ilustra a Figura 10.14.

A Figura 10.14, que é uma simplificação da Figura 10.9, apresenta um exemplo de cadeia de distribuição física, que será adotada para ilustrar o mecanismo de interação entre os diferentes elos da cadeia. A sigla DEP é a abreviação de depósito e CD é a de centro de distribuição. Na Figura 10.14



**Figura 10.14** Implusão do DRP.

apenas foi detalhado o desdobramento da distribuição do CD 1. Por analogia, um mecanismo semelhante de cálculo deve ser adotado para calcular os registros do CD 2, a partir dos elos que ele abasce e que não estão ilustrados nessa figura.

A Tabela 10.5 ilustra o mecanismo de cálculo entre os depósitos 1 e 2 e o centro de distribuição 1. Os cálculos apresentados para o depósito 1 são os mesmos obtidos na Tabela 10.4 e que foram desenvolvidos ao longo deste capítulo.

As necessidades brutas do CD 1 correspondem às somas dos embarques planejados dos depósitos 1 e 2, nos mesmos períodos correspondentes. Isto ocorre, porque os tempos de reposição dos depósitos já contemplam todos os tempos relacionados desde a colocação do seu pedido de reposição para o elo fornecedor, que no caso é o CD 1, até a sua completa disponibilização nos próprios depósitos.

É fundamental atentar que neste caso as necessidades previstas dos depósitos 1 e 2 correspondem às demandas independentes, calculadas a partir das necessidades dos clientes. Todavia, no CD 1, como toda a necessidade de reposição de produtos parte dos embarques planejados dos depósitos 1 e 2, passa-se a operar com demanda dependente, não havendo mais a necessidade de prever a neces-

**Tabela 10.5** Interação entre os depósitos 1 e 2 e o centro de distribuição 1.

DEPÓSITO 1		Lote: 50						
Item: X		Tempo de Reposição: 2						
Descrição:		Estoque de Segurança: 25						
ITENS DE CONTROLE	PERÍODOS							
	2	3	4	5	6	7	8	
Necessidades Previstas	30	30	30	30	35	35	35	
Em Trânsito	50	50						
Estoque Disponível / Projetado	30	50	70	40	60	25	40	55
Recebimentos Planejados				50		50	50	
Embarques Planejados		50		50	50	ND	ND	

DEPÓSITO 2		Lote: 40						
Item: X		Tempo de Reposição: 1						
Descrição:		Estoque de Segurança: 10						
ITENS DE CONTROLE	PERÍODOS							
	2	3	4	5	6	7	8	
Necessidades Previstas	20	20	20	20	20	20	20	
Em Trânsito	40							
Estoque Disponível / Projetado	10	30	10	30	10	30	10	30
Recebimentos Planejados			40		40		40	
Embarques Planejados		40		40		40	ND	

CD 1		Lote: 100						
Item: X		Tempo de Reposição: 1						
Descrição:		Estoque de Segurança: 50						
ITENS DE CONTROLE	PERÍODOS							
	2	3	4	5	6	7	8	
Necessidades Brutas		90		90	50	ND	ND	
Em Trânsito								
Estoque Disponível / Projetado	30	30	140	140	50	100	ND	ND
Recebimentos Planejados		200			100	ND	ND	
Embarques Planejados	200			100	ND	ND	ND	

DEP 1

DEP 2

CD 1

sidade de fornecimento de cada período. Logo, no CD 1, pode-se operar com as necessidades brutas e não mais com as previstas. Assim, como exemplo, no período 3, a necessidade bruta de 90 unidades de X no CD 1 é oriunda da soma dos embarques planejados de 50 unidades do depósito 1 no período 3, com 40 unidades do depósito 2 no período 3.

Observa-se que a partir do sétimo período do CD 1, a sigla ND (Não Disponível) indica que não há informações disponíveis para finalizar o cálculo, pois não basta ter a informação de 40 unidades do embarque planejado do período 7 do depósito 2 se não há informação disponível do embarque planejado do período 7 do depósito 1. Conseqüentemente, diversas outras informações também não podem ser calculadas, ficando indisponíveis.

O DRP, assim como o MRP e o MPS, é uma ferramenta de suporte a decisão, onde cálculos são sugeridos, mas o sistema permite a intervenção do planejador. Um exemplo disto pode ser observado no estoque projetado do período 2, com 30 unidades e, portanto, abaixo do estoque de segurança, que é de 50 unidades. Teoricamente, isto não poderia ter ocorrido em um ambiente de demanda dependente, a menos que tenha sido por intervenção do planejador, ou devido à demanda real do mercado ter sido superior às necessidades previstas nos depósitos 1 e/ou 2.

Assim, como a necessidade bruta calculada para o período 2 era zero, o planejador optou por não enviar as 100 unidades do lote econômico no período 2, que deveriam estar calculadas no embarque planejado do CD 1 no período 1. Ao tomar esta medida, ele deixou o estoque projetado com 30 unidades no período 2 do CD 1, e que é inferior ao estoque de segurança (50 unidades). Esse embarque planejado foi postergado e está planejado para ser enviado no período seguinte. Novamente, no período 2 o planejador tem autonomia para decidir se libera o embarque planejado de 200 unidades de X, ou se libera apenas 100 unidades. Caso opte por liberar apenas 100 unidades de X, os períodos 3 e 4 do CD 1 ficariam com o estoque projetado de apenas 40 unidades e, portanto, novamente abaixo do estoque de segurança.

Em redes de distribuição física, onde as demandas entre os elos têm comportamento dependente, é importante questionar se vale a pena manter estoques de segurança espalhados por todos os elos da cadeia, ou concentrá-los nos elos onde as demandas têm comportamento independente? Ocorre que a manutenção de estoques de segurança por todos os elos da rede acarreta o aumento do estoque global e, conseqüentemente, do custo de estocagem. Como a demanda é dependente, não deve haver variação na demanda, o que não justificaria manter estoques de segurança. O que deve ocorrer são variações nos tempos de deslocamento entre elos. Mas isto pode ser sanado através da adoção de tempos de segurança. Além disso, se o estoque de segurança for concentrado nos elos onde a demanda for independente, haverá uma tendência natural do aumento do nível de serviço, pois ele estará mais próximo ao mercado consumidor. Isto é, ele estará mais próximo de onde os consumidores estão.

O agrupamento dos registros do CD 1 e CD 2 no estoque central é apresentado pela Tabela 10.6.

As necessidades brutas do estoque central correspondem às somas dos embarques planejados dos CDs 1 e 2, nos mesmos períodos correspondentes. Assim, como exemplo, no período 5, a necessidade bruta de 250 unidades de X no estoque central é oriunda da soma dos embarques planejados de 100 unidades do CD 1 no período 5, com 150 unidades do CD 2 no período 5.

No registro do estoque central opera-se o próprio MPS. Nele, a linha “Recebimentos Programados” tem funcionamento análogo ao das linhas “Em Trânsito” dos registros dos CDs. Mas, nesse caso, em especial, como o tempo de reposição é igual a zero, produz-se no mesmo dia a quantidade demandada. Assim, nenhuma quantidade aparecerá nela, pois não há autorização feita em um período anterior para ficar pronta no futuro. Tudo o que se autoriza no dia, fica pronto no próprio dia.

A linha “Liberação de Ordens Planejadas” indica com quantos períodos de antecedência se tem que iniciar a produção, para que na data desejada o produto esteja disponível na quantidade necessária calculada. Nesse caso, como o tempo de reposição é nulo, as informações dessa linha aparecem

no mesmo período que as informações contidas na linha do recebimento programado, como pode ser observado no período 5.

Foi criada uma cerca de tempo entre o segundo e o terceiro períodos, a partir da data atual, nesse caso, representados pelos períodos 3 e 4. Essa cerca de tempo delimita a partir de quando não se pode mais alterar uma produção planejada. Assim, quando uma produção planejada está a mais de 2 períodos de ser efetivada, ela pode ser cancelada, postergada, antecipada, ou ter sua quantidade alterada. Mas, quando ela cruza a cerca de tempo imposta e, no presente caso, fica a apenas 2 períodos de ser produzida, ela sai da linha “Liberação de Ordens Planejadas” e vai para a linha “Ordens Planejadas Firmes (MPS)”, no mesmo período. Nesse instante há um comprometimento da capacidade fabril, dos insumos necessários, dentre outros recursos necessários para a produção.

**Tabela 10.6** Interação entre os CDs 1 e 2 e o estoque central.

CD 1		Item: X		Lote: 100		Tempo de Reposição: 1		Estoque de Segurança: 50	
ITENS DE CONTROLE		PERÍODOS							
		2	3	4	5	6	7	8	
Necessidades Previstas			90		90		ND	ND	
Em Trânsito									
Estoque Disponível / Projetado	30	30	140	140	50		ND	ND	
Recebimentos Planejados			200			100	ND	ND	
Embarques Planejados		200			100	ND	ND	ND	

CD 2		Item: X		Lote: 150		Tempo de Reposição: 2		Estoque de Segurança: 50	
ITENS DE CONTROLE		PERÍODOS							
		2	3	4	5	6	7	8	
Necessidades Previstas		190		120	80		120	ND	
Em Trânsito		150		150					
Estoque Disponível / Projetado	100	60	60	90	160	160	190	ND	
Recebimentos Planejados					150		150	ND	
Embarques Planejados			150		150	ND	ND	ND	

ESTOQUE CENTRAL		Item: X		Lote: 300		Tempo de Reposição: 0		Estoque de Segurança: 100	
ITENS DE CONTROLE		PERÍODOS							
		2	3	4	5	6	7	8	
Necessidades Brutas		200	150		250	ND	ND	ND	
Recebimentos Programados									
Estoque Disponível / Projetado	150	250	100	100	150	ND	ND	ND	
Recebimentos Planejados		300			300	ND	ND	ND	
Liberação de Ordens Planejadas					300	ND	ND	ND	
Ordens Planejadas Firmes (MPS)		300				ND	ND	ND	

CD 1

CD 2

CERCA DE TEMPO

### 10.3 CASO DE INTERMODALIDADE: PETROLOG<sup>11</sup>

A Petrolog foi contratada em setembro de 2004 para ser o operador logístico de uma concessionária ferroviária da malha do Sudeste (MG/RJ/SP) no Terminal Multimodal do Arará (Caju-RJ). Esse terminal está em um local atraente do ponto de vista logístico, pois trata-se de uma área retro-portuária<sup>12</sup> do Porto do Rio de Janeiro.

Apesar dessa localização vantajosa, tendo acessos ferroviários, rodoviários e marítimos, a utilização do Terminal do Arará por parte da concessionária era insignificante perante a sua capacidade física e intermodal. Porém, o Terminal do Arará sempre foi vital às pretensões de crescimento do volume transportado por essa concessionária pelo modal ferroviário para a cidade do Rio de Janeiro.

Embora fosse um terminal, era utilizado basicamente como um pátio de manobras ferroviárias. Suas operações estavam concentradas prioritariamente no desacoplamento de vagões e desvios desses subconjuntos para cada operador portuário e na montagem das composições de retorno com devolução dos vagões vazios que foram descarregados em cada operador portuário. Ao enviar os subconjuntos de vagões a cada operador portuário, o retorno desses vagões vazios não estava sob o domínio da concessionária. Cada operador portuário tratava suas prioridades conforme suas necessidades e programações, em muitos casos o tempo para retorno era superior a 72 horas. Além de viabilizar um novo negócio, a instalação efetiva de um terminal nas dependências da concessionária ajudaria a resolver seu principal problema de controle do giro de vagões.

Ao ser contratada para operar o terminal, a Petrolog teve como objetivo ampliar as potencialidades do terminal por meio do desenvolvimento de credibilidade no mercado e da otimização dos ativos da concessionária (vagões), fazendo com que o seu tempo ocioso fosse o menor possível. A meta acordada foi de permanência máxima dos vagões em 24 horas no terminal, para que a concessionária pudesse executar seu planejamento de crescimento de transporte ferroviário para o Rio de Janeiro.

Os desafios eram inúmeros, com isso o planejamento da Petrolog se focou em alguns grandes pilares:

- Seleção e qualificação de pessoas;
- Aquisição e reforma de equipamentos para movimentação e armazenagem;
- Conhecimento das necessidades de cada cliente e de desenvolvimento de procedimentos para atendê-las;
- Customização do software Petrolog de gestão de fluxo e controle de estoques para as necessidades do terminal;
- Transformação das áreas de manobras em áreas de estocagem de produtos;
- Organização de um fluxo de veículos eficiente para entrega dos produtos no costado dos navios;
- Desenvolvimento de projeto para um futuro terminal de grandes movimentações.

Os principais clientes desenvolvidos para o terminal foram indústrias siderúrgicas, cimenteiras e automotiva para os processos de exportação pelo Porto da Cidade do Rio de Janeiro. Porém outros segmentos ainda podem utilizar este terminal como parte de sua rede logística, como as indústrias petroquímicas, para remessas a outros estados, e as indústrias de bens de consumo para distribuição no mercado do Rio de Janeiro.

O desafio relativo a pessoal é comum a qualquer atividade, contudo a grande dificuldade foi quebrar paradigmas e “vícios” enraizados na mão-de-obra disponível acostumada a trabalhar sem procedimentos formais e sem foco em resultados e satisfação dos clientes. A essência do treinamento foi alterada e transformou-se em processo educacional para formar profissionais alinhados com os compromissos e desafios da Petrolog.

<sup>11</sup>A Petrolog ganhou em 2005 o Prêmio “Operador Intermodal do Ano” oferecido pela *Revista Ferroviária* por sua operação no Terminal de Arará, Rio de Janeiro. Hoje a Petrolog pertence a Ultracargo (empresa do Grupo Ultra).

<sup>12</sup> Área localizada nas vizinhanças de um porto e que serve para dar suporte às operações portuárias.

Um novo projeto de armazenagem para suprimir as linhas de manobra de vagões e recuperar os pisos e as coberturas dos armazéns propiciou um aumento efetivo da capacidade de armazenagem de 24.000 m<sup>2</sup> para 56.000 m<sup>2</sup> que, considerando o *mix* médio de produtos, capacitava o terminal a armazenar até 60.000 toneladas de produtos em 2006.

O fluxo de carregamento de veículos e o transporte dos produtos ao costado dos navios, também sob responsabilidade do terminal, eram tão importantes quanto a descarga dos vagões. Os atrasos ou falta de carga provocam custos altíssimos ao embarcador (chamados de *démourrage*) que poderiam chegar a US\$ 30.000,00/dia. O sucesso dessa operação depende de um sincronismo muito bom entre o transporte e a velocidade de operação de carga de cada navio. A implantação de sistema de comunicação eficaz na operação e a definição de matrizes de necessidades de veículos baseadas nas capacidades de operação dos equipamentos portuários associadas a cada tipo de produto contribuíram para manutenção do fluxo regular de “alimentação” dos navios.

O planejamento de descarga dos vagões passou a ser executado com base em informações obtidas *on line*, via Internet, oriundas do sistema da concessionária referentes aos vagões em trânsito. Estes dados eram transferidos para o sistema de planejamento da Petrolog, onde eram determinados: programação dos posicionamentos de vagões, prioridades de serviços e horários de descarga.

Nos dois anos em que a Petrolog esteve à frente das operações logísticas do terminal analisado, os volumes de siderúrgicos passaram de 2.000 t/mês para 45.000 t/mês. Os volumes de *contêineres* passaram de 20 TEUs por mês para 1.000 TEUs por mês. Os serviços de estufagem de *contêiner*, cujo valor agregado é alto, passou de 50 *contêineres*/mês para 250 *contêineres*/mês. O número de vagões descarregados passou de uma média diária de 5 para 40.

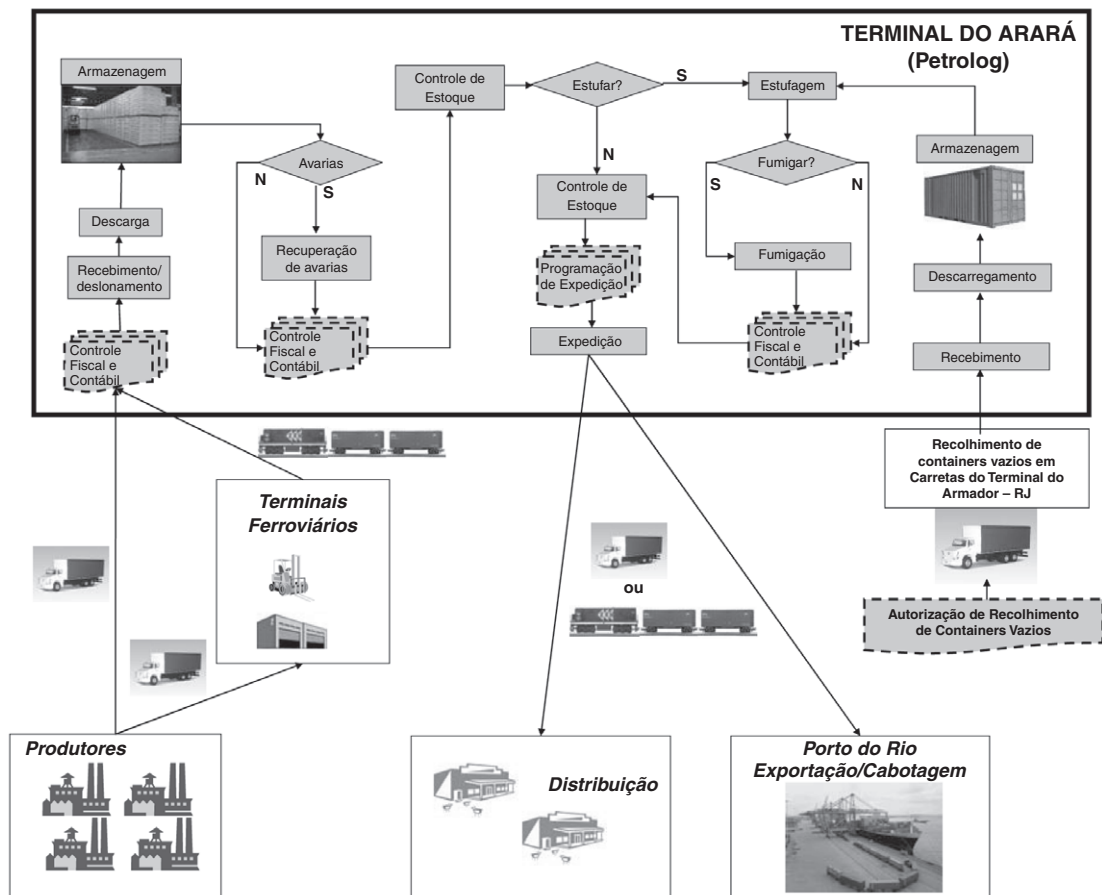
Este crescimento só foi possível porque houve um levantamento das necessidades imediatas e um planejamento para atendê-las, conforme descrito anteriormente, mas o diferencial foi o investimento intenso nas pessoas e no sistema de gestão. O terminal passou a receber vagões com produtos oriundos de Belo Horizonte (MG), Juiz de Fora (MG), Volta Redonda (RJ), São Paulo (SP), Pindamonhangaba (SP) e enviar estes produtos para o porto onde são exportados.

O fluxograma da Figura 10.15 apresenta, em linhas gerais, a operação da Petrolog na logística do terminal. O produto pode chegar ao terminal do Arará diretamente dos produtores (clientes) por caminhão, ou então por meio de outros terminais ferroviários. Após os controles fiscais e contábeis a mercadoria é descarregada e armazenada. Caso existam avarias, elas são recuperadas sempre que possível no próprio terminal. A Petrolog também oferece os serviços de estufagem (enchimento) de *contêineres* e de fumigação (para controle de pestes). A distribuição a partir do terminal é baseada nos modos rodoviário e ferroviário, tanto para os operadores portuários (carga que normalmente será exportada), quanto para os demais pontos de distribuição.

#### 10.4 REVISÃO DOS CONCEITOS APRESENTADOS

O capítulo apresenta inicialmente a evolução do conceito de logística, desde o enfoque militar até o seu atual enfoque empresarial, e a sua transformação a partir de uma visão fragmentada dentro de uma empresa até uma visão integrada abrangendo a gestão da cadeia de suprimentos (*Supply Chain Management*). Em seguida é abordado o conflito entre oferecer um elevado nível de serviço logístico e o seu respectivo custo, equilíbrio este que é um grande desafio da logística e que não pode ser generalizado para todas as empresas, produtos, clientes e indústrias. O capítulo também apresenta as principais áreas funcionais: projeto de rede logística; informação; transporte; estoque; armazenagem; manuseio de materiais e embalagem. Cada uma dessas áreas é apresentada de forma isolada para fins didáticos, mas é destacada a necessidade de uma visão de coordenação integrada entre as áreas de forma a gerar uma competência logística. Também são expostos os conceitos de aplicação do Planejamento das Necessidades de Distribuição (DRP), que é um sistema para coletar e processar os dados necessários, ao longo de toda a cadeia, para melhor atender as demandas especí-





**Figura 10.15** Operação intermodal da Petrolog

Fonte: Petrolog

ficas de cada ponto-de-venda, através de uma programação da produção e de uma distribuição mais eficazes. Os registros e a lógica de operação do DRP são similares às técnicas de “explosão” do MRP (ver Capítulo 7), permitindo integração natural e consistente do MPS (ver Capítulo 6) com o DRP através de um processo denominado “implosão”, que possibilita a programação da produção com um maior conhecimento dos diferentes estágios do sistema de distribuição física. O final do capítulo ilustra a execução de uma operação logística intermodal. Para maior aprofundamento no tema, recomenda-se consultar a extensa bibliografia disponível em livros e artigos científicos, além das referências listadas ao final deste capítulo.

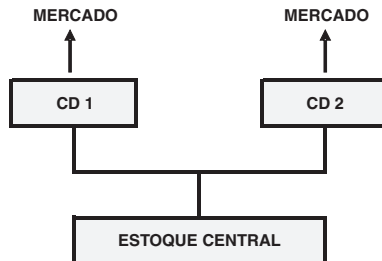
## PALAVRAS-CHAVE

- Demandas dependente e independente
- Distribuição Física
- DRP – Planejamento das Necessidades de Distribuição
- Gestão da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Management*)
- Grupo Ultra / Ultracargo / Petrolog

Logística  
 MPS – Planejamento Mestre de Produção  
 MRP – Planejamento das Necessidades de Materiais  
 Prestadores de Serviços Logísticos (PSLs)

**10.5 EXERCÍCIOS**

1. Disserte sobre as diferenças entre o enfoque militar dado à logística até a primeira metade do século XX e o atual enfoque de logística empresarial integrada em uma cadeia de suprimentos?
2. Como a logística pode gerar uma vantagem competitiva no atual mundo empresarial?
3. Por que é necessária a coordenação de forma integrada das diferentes áreas funcionais da logística?
4. Como um operador logístico pode atuar em cada uma das áreas funcionais da logística?
5. Descreva de que maneira as áreas funcionais da logística afetam o *trade off* entre custos logísticos e nível de serviço prestado ao cliente.
6. Relacione e explique pelo menos 3 das principais finalidades do DRP, que lhe permite otimizar o processo logístico.
7. O DRP parte da *demand independent* na forma de previsões desagregadas por produto e localização, feitas pelos pontos-de-venda, ou pontos de distribuição locais, mais próximos do mercado de que se tenha informação disponível. Qual é o grande benefício que este mecanismo gera para a melhoria de acurácia das previsões ao longo dos elos da cadeia de distribuição?
8. O DRP se integra com o MPS e com o MRP? Como ocorre essa integração? A demanda é tratada de forma dependente, ou independente?
9. Relacione e explique pelo menos 3 ações de planejamento do sistema logístico, que se tornam possíveis devido à visibilidade integrada da cadeia que o DRP possibilita.
10. O produto X é transferido do estoque central para atender as demandas específicas dos CDs 1 e 2, que abastecem mercados locais distintos. Com base nas informações disponibilizadas nas tabelas abaixo, determine as liberações de ordens planejadas do estoque central.



CD 1		Lote: 50						
Item: X		Tempo de Reposição: 1						
Descrição:		Estoque de Segurança: 10						
ITENS DE CONTROLE		PERÍODOS						
		1	2	3	4	5	6	7
Necessidades Previstas		25	25	25	25	25	25	25
Em Trânsito		50						
Estoque Disponível / Projetado		15						
Recebimentos Planejados								
Embarques Planejados								

CD 2		Lote: 30						
Item: X		Tempo de Reposição: 2						
Descrição:		Estoque de Segurança: 0						
ITENS DE CONTROLE		PERÍODOS						
		1	2	3	4	5	6	7
Necessidades Previstas		15	15	15	15	15	15	15
Em Trânsito		30						
Estoque Disponível/ Projetado	20							
Recebimentos Planejados								
Embarques Planejados								

ESTOQUE CENTRAL		Lote: 100						
Item: X		Tempo de Reposição: 1						
Descrição:		Estoque de Segurança: 0						
ITENS DE CONTROLE		PERÍODOS						
		1	2	3	4	5	6	7
Necessidades Brutas								
Recebimentos Programados								
Estoque Disponível/ Projetado	80							
Recebimentos Planejados								
Liberação de Ordens Planejadas								

# Sistemas de informação

RODRIGO JORGE DE OLIVEIRA

**Agradecimentos:** Denise de Oliveira Bergo Duarte e Roberto de Aguiar Bergo Duarte.

## ■ OBJETIVOS DE APRENDIZADO

Este capítulo complementa os capítulos anteriores, estabelecendo os conceitos e as práticas dos sistemas de informação que apóiam o PCP e a sua integração na cadeia de suprimento.

Apresenta a visão evolutiva dos sistemas de informação para o PCP. Explica ainda os fatores inerentes às decisões de investimentos em sistemas de informação.

Apresenta o ERP, sistema de gestão integrada empresarial, suas características funcionais, alguns dos principais softwares existentes no mercado e sua implantação.

Os modernos conceitos de *e-business*, *e-commerce*, *e-government* e *c-commerce* são apresentados sob o propósito de entendimento de PCP e o relacionamento da organização com a cadeia de suprimento.

## 11.1 INTRODUÇÃO

### 11.1.1. Definição

Apesar de os Sistemas de Informação (SI) serem considerados como um conceito moderno, a sua origem está associada aos primórdios da humanidade: desde que o homem se comunica.

Para o melhor entendimento do que é um Sistema de Informação (SI), é preciso, primeiramente, estabelecer o que é um sistema. Assim, *sistema* pode ser definido como *a combinação de partes coordenadas entre si, que operam em conjunto para o atingimento de um objetivo comum, dinamicamente recebendo insumos e gerando resultados, através de um processo organizado de transformação*.

Em geral, os sistemas de informação são compostos por “um conjunto organizado de pessoas, hardware, software, redes de comunicações e recursos de dados que coleta, transforma e dissemina informações em uma organização”, conforme ilustra a Figura 11.1. Os hardwares são os dispositivos físicos, que, por exemplo, incluem desde os afrescos nas paredes das cavernas, papel, caneta, máquina de escrever, até os computadores. Os softwares são as instruções e procedimentos de processamento de informações, como por exemplo, o idioma de uma determinada língua e suas regras de comunicação, bem como programas de computador. As redes de comunicações são os canais, como boca, ouvido, redes de telecomunicações, intranet, extranet e Internet. Os recursos de dados são os dados armazenados, como por exemplo: a memória das pessoas, livros e arquivos de computador (O’Brien, 2006:6-7).

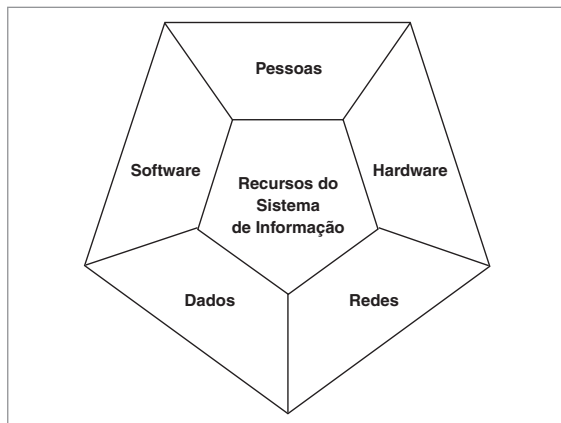
Como pode ser observado através dos exemplos apresentados para *os recursos de um sistema de informação*, eles são muito anteriores e têm uma abrangência bem mais ampla do que a tratada *pelo*

conceito moderno de Tecnologia da Informação (TI), que será o enfoque abordado neste capítulo e que está baseado no uso de hardwares e softwares de computadores, Internet e redes de telecomunicações.

### 11.1.2 Papéis no uso empresarial

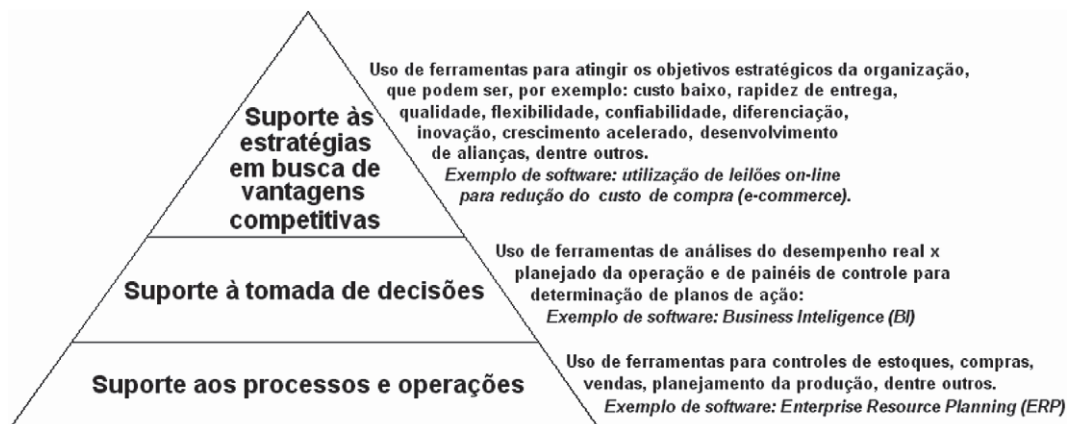
Os sistemas de informação desempenham, para as empresas, três papéis fundamentais de suporte, conforme ilustra e exemplifica a Figura 11.2, a saber (O'Brien, 2006:18):

- **suporte de seus processos e operações** – são sistemas que objetivam agilizar e garantir que rotinas e procedimentos internos sejam executados de forma padronizada, planejada e controlada, podendo operar integrados, ou não, a outros sistemas. Um bom exemplo de ferramenta que desempenha esse papel é um sistema de gestão empresarial, também conhecido como ERP (*Enterprise Resources Planning*), que permite que todas as áreas de uma empresa possam operar de forma integrada. Esse sistema será explicado em detalhes na Seção 11.3.
- **suporte na tomada de decisões** – são sistemas que, em geral, extraem informações de outros sistemas transacionais, operam no nível operacional da organização, como de um ERP, por exemplo. As informações coletadas são tratadas e sumarizadas em fontes de consulta, que podem ser:
  - estáticas: relatórios ou arquivos;
  - dinâmicas: como as proporcionadas por um sistema de BI (*Business Intelligence*), que permite que um executivo realize diferentes análises de forma rápida e interativa, ao recombinar e reorganizar as informações existentes.
- **suporte em suas estratégias em busca de vantagem competitiva** – ao traçar suas estratégias, as empresas determinam quais objetivos estratégicos desejam focar, e/ou se diferenciar em seus mercados, para obter vantagens competitivas sobre seus concorrentes. Cada empresa pode es-



**Figura 11.1.** Recursos de um sistema de informação.

Fonte: Adaptado de O'Brien, 2006, p. 6.



**Figura 11.2.** Papéis fundamentais dos sistemas de informação para as empresas.

Fonte: Adaptado de O'Brien, 2006, p. 18.

colher se concentrar em um ou mais objetivos estratégicos, que vão desde competir em *custo* (menores preços para os clientes), *rapidez de entrega* (entregar mais rápido que os concorrentes), *qualidade* (entregar dentro das especificações esperadas), *flexibilidade* (poder alterar o que, quando ou quanto faz – flexibilidade de produto, e/ou de entrega, e/ou de *mix*, e/ou de prazo de entrega etc.), entre outros objetivos. Dependendo do objetivo estratégico adotado, um ou mais sistemas de informação poderão ser utilizados para suportar a estratégia em busca de vantagem competitiva. Assim, como exemplo de suporte para um objetivo de redução de custos de compra de mercadorias, pode-se utilizar leilões *on-line*, que são uma das ferramentas de *e-commerce* comentadas na Seção 11.4.

### 11.1.3 Visão geral evolutiva dos SIs para o PCP

Na década de 1950 (1950-1959), os sistemas de informação eram usados para manutenção de registros, processamento de transações, contabilidade e alguns aplicativos simples de processamento eletrônico de dados (EDP – *Electronic Data Processing*).

Na década de 1960, foi introduzido o conceito de Sistema de Informação Gerencial (SIG), que consistia na geração de relatórios gerenciais predefinidos, com o objetivo de auxiliar o corpo gerencial no processo de tomada de decisões. Nessa época, os sistemas de manufatura eram soluções personalizadas e desenvolvidas dentro de cada empresa, focadas no controle de estoques, baseados nos conceitos tradicionais de controle de estoque (lote econômico, ponto de pedido, estoque de segurança etc.).

Na década de 1970, como o SIG era *engessado* (pouco flexível), não atendia a diversas necessidades gerenciais para a tomada de decisões. Foi criado, então, o conceito de sistema de suporte à decisão (DSS – *Decision Support System*), que consistia na geração de relatórios personalizados, projetados para atender às necessidades específicas do corpo gerencial, que definia seus padrões e estilos.

Paralelamente, nessa época, surgia o MRP (*Material Requirements Planning*), que desempenhou papel fundamental para o Planejamento e Controle da Produção. Os sistemas MRP dessa ocasião ainda não estavam integrados com outras áreas da empresa e apenas calculavam as necessidades de matérias-primas e intermediários (instante e quantidade a serem repostos), a partir das quantidades de produtos acabados que se desejava produzir, sem analisar a capacidade disponível existente.

Na década de 1980, começou a explosão do uso dos microcomputadores pelos usuários finais, devido à evolução rápida da capacidade de processamento dos microcomputadores e ao surgimento de aplicativos (softwares) e redes de comunicações, além da queda acentuada dos custos de hardwares. Com isso, os usuários finais deixaram de depender exclusivamente dos departamentos de tecnologia de informação das empresas para terem suas necessidades de trabalho atendidas. Paralelamente, o DSS evoluiu para o sistema de informação executiva (EIS – *Executive Information System*), que tentava gerar, de modo simplificado, informações críticas no instante e formato estabelecidos pelo corpo gerencial.

Nesse momento as técnicas de inteligência artificial (IA), bem como os sistemas especialistas (*Expert Systems* – ES) começaram ser difundidos.

O MRP evoluiu para o planejamento dos recursos de manufatura (MRP II – *Manufacturing Resources Planning*). O MRP II representou o primeiro passo para a integração entre as áreas funcionais das empresas, que ocorreria na virada da década de 1980 para 1990, com o surgimento dos sistemas integrados de gestão empresarial (ERP). O MRP II permitia a conexão da base de dados criada e mantida pelo MRP com o sistema financeiro da empresa para a geração de relatórios e para permitir que outras áreas funcionais testassem possíveis cenários de decisões, tais como: projetar valores futuros de recebimento, de custo de produto, de alocação de mão-de-obra, de pedidos em carteira e de lucro, entre outros. Essas informações eram utilizadas, por exemplo, pelas áreas de produção, com-

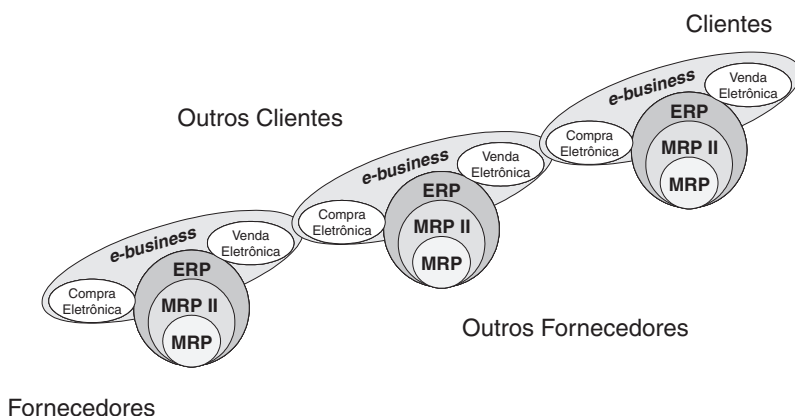
pras, marketing, finanças e de engenharia para desenvolver e monitorar o planejamento estratégico, determinar os objetivos de vendas, as competências necessárias de produção, bem como as restrições de fluxo de caixa (Krajewski, 1996:694). A partir desse instante, os sistemas de informação começam a desempenhar um papel estratégico crescente nas organizações, passando a contribuir com a melhoria dos processos, produtos e serviços, atuando como facilitador na obtenção de vantagens competitivas.

Na **década de 1990**, a integração do MRP II e os demais sistemas especialistas em uma base de dados única ganhou força, gerando os sistemas integrados de gestão empresarial ERP (*Enterprise Resource Plannig*). Esses sistemas representaram uma revolução para o tratamento dos processos internos das organizações, pois, além de acabarem com redundância de informações mantidas por diversas áreas, que muitas vezes eram divergentes, por não estarem armazenadas em um banco de dados unificado, permitiram que as informações fossem transacionadas em tempo real, entre as áreas afins da organização. Outro grande benefício alcançado foi a integração de todas as informações de cada organização, que resultou num melhor entendimento de seus próprios negócios, e, por conseguinte, na adoção e reunião das melhores práticas de gestão, utilizadas no mercado para a confecção dos sistemas ERP.

No início dessa década, os primeiros passos para troca de informações entre empresas foram feitos através de sistemas EDI (*Electronic Data Interchange*). Esses sistemas utilizavam redes privadas e padrões de protocolos internacionalmente estabelecidos para a troca de informações entre empresas, tais como pedidos de compra, faturas, solicitações e avisos de remessa.

Ainda na década de 1990, houve a explosão do uso da Internet e das intranets (dentro da empresa), extranets (conexão segura, com controle de usuários e senhas para acesso externo à empresa, podendo incluir acessos de terceiros) e outras redes. Com o aumento da robustez dos sistemas ERP, o foco dos sistemas de informação, que até então estava direcionado para dentro das empresas, começou a se voltar para fora da empresa, resultando no nascimento do *e-business*. Conforme ilustra a Figura 11.3, o *e-business* veio viabilizar, através do uso da Internet, o estabelecimento de processos de negócios, além da conexão, comunicação e colaboração, entre outras funcionalidades, entre uma empresa e seus clientes, fornecedores e demais provedores de negócios, englobando o *e-commerce* (B2B, B2C, C2C), dentre outras modalidades de negócios eletrônicos que serão comentadas ao longo deste capítulo.

Na **primeira década do século XXI**, a incorporação aos ERPs de funcionalidades voltadas para fora da empresa, como o CRM (*Customer Relationship Management*) e o SCM (*Supply Chain Management*), ocasionou a evolução do atual ERP para o ERP II. Essa evolução, associada à multiplici-



**Figura 11.3.** Cadeia de valor estendida entre empresas com sistemas de vendas dos fornecedores se conectando aos de compra do cliente.

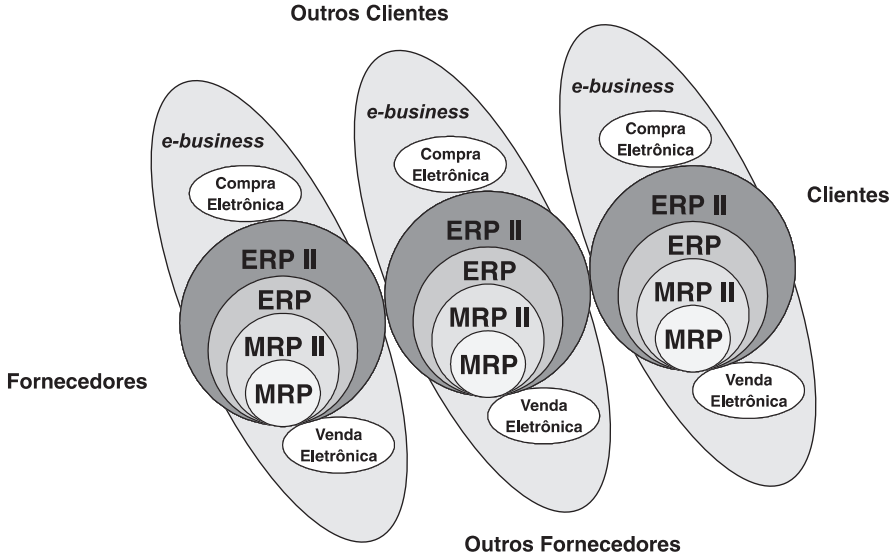


Figura 11.4. Cadeia de valor estendida entre empresas com ERPs de clientes e fornecedores conectados.

dade de fornecedores de ferramentas ERP distintas e ao fortalecimento do *e-business*, resultou na necessidade de uma melhor integração entre os ERPs das empresas envolvidas em cada *cadeia de valor estendida* (fornecedores, organização e clientes conectados). Essa necessidade de uma melhor integração entre os ERPs tem sido solucionada com a utilização de *middlewares*.<sup>1</sup> O EAI (*Enterprise Application Integration*) é um exemplo de *middleware* utilizado para integração entre ERPs, além de outras funcionalidades, que fazem uso de tecnologias que permitem que as integrações dos ERPs sejam realizadas através da Internet. Middlewares como o EAI visam permitir que o ERP de uma organização possa se conectar a qualquer ERP de outras organizações parceiras, mesmo que oriundos de fabricantes diferentes, utilizando banco de dados diferentes, entre outras variações. A conexão direta entre os ERPs II das empresas de uma mesma cadeia consiste em um processo de *e-business* de parceria, ou colaboração, denominado *c-commerce*, explicado na Seção 11.4. A Figura 11.4 ilustra a conexão entre ERPs de diferentes organizações, através do uso de middlewares, estreitando a relação entre as empresas de uma mesma cadeia.

As tecnologias de *e-business* e ERP tornaram-se soluções complementares para as empresas, visto que o *e-business* suporta os processos e a integridade dos dados externos, que, por sua vez, dependem diretamente dos processos e da integridade dos dados internos de cada organização, que são suportados pelos ERPs.

A tendência de evolução dos SIs aponta para o desenvolvimento de nichos de tecnologias que tendam a dar sustentação e a otimizar a operação de empresas envolvidas em uma mesma cadeia de suprimentos, para que elas possam operar conectadas em cadeias de valor estendidas. Alguns desses nichos já existentes são, por exemplo, o CRM (*Customer Relationship Management*), o SCM (*Supply Chain Management*) e o SRM (*Supplier Relationship Management*), entre outros, que tendem a ser absorvidos pelos sistemas ERPs, em contínua evolução, ampliando o espectro de ação de suas ferramentas, ao inserir as novas tecnologias e funcionalidades emergentes.

Assim, a tendência evolutiva dos SIs tem indicado que a capacidade de interligação dos sistemas internos de informação das organizações em cadeias de informação que acompanhem, paralela-

<sup>2</sup> *Middlewares* – são softwares de integração que conectam duas ou mais aplicações (softwares), com o objetivo de permitir a troca de dados entre as mesmas.



mente, as cadeias de valor estendidas de seus bens e serviços, deixará de ser, em breve, um grande diferencial competitivo para tornar-se uma condição de sobrevivência no mercado globalizado, assim como a organização dos dados e processos internos através de uma ferramenta de gestão estruturada e consistente, como o ERP.

Outra tendência que tem se mostrado extremamente promissora é a “portalização” das organizações. Isto é, a disponibilização, em um portal da organização, de informações on-line relevantes, estruturadas, individuais e personalizadas, que atendam às diferentes necessidades de clientes, fornecedores, parceiros e membros da organização. Assim, através desse portal corporativo, a empresa poderá interagir em todas as suas funções (gestão administrativo/financeira, marketing, vendas, produção, relacionamento com fornecedores, clientes, parceiros estratégicos, franqueados e acionistas), muitas delas suportadas pelo ERP, além de outras necessidades não suportadas pelo ERP. Estas são conhecidas como informação desestruturada, por poder versar sobre qualquer demanda necessária para o bom funcionamento do negócio. Na maioria dos casos, as informações desestruturadas correspondem à maior parte das informações necessárias, a serem introduzidas nos portais. Esse conjunto de informações estruturadas e não-estruturadas *portalizadas* possibilitará que cada membro da empresa, ao chegar ao escritório, por exemplo, abra o portal, através de níveis de restrições de acesso previamente estabelecidos por senhas, e trabalhe normalmente através dele, com acesso ao ERP da empresa, aos demais softwares acessórios, às conexões de clientes e parceiros e podendo manter armazenado em rede todas as informações necessárias. Assim, igualmente, poderá conectar-se à organização a qualquer hora e de qualquer lugar do mundo e trabalhar normalmente e com todas as informações de que necessita, sem a preocupação de não ter disponível um arquivo que ficou gravado no disco rígido de seu computador no escritório.

É importante observar que a “portalização” de uma organização pode ser uma ação independente ou complementar à necessidade de interligação das informações através da cadeia de valor estendida, em nada competindo com esta. Ela surge com o principal objetivo de romper barreiras de localização física e feudos de informações, ilimitando as possibilidades de acesso, além de promover o aumento da produtividade e agilidade na tomada de decisões sem fronteiras. A Figura 11.5 ilustra a junção das principais tecnologias que atualmente podem compor a arquitetura dos sistemas de informação do século XXI.

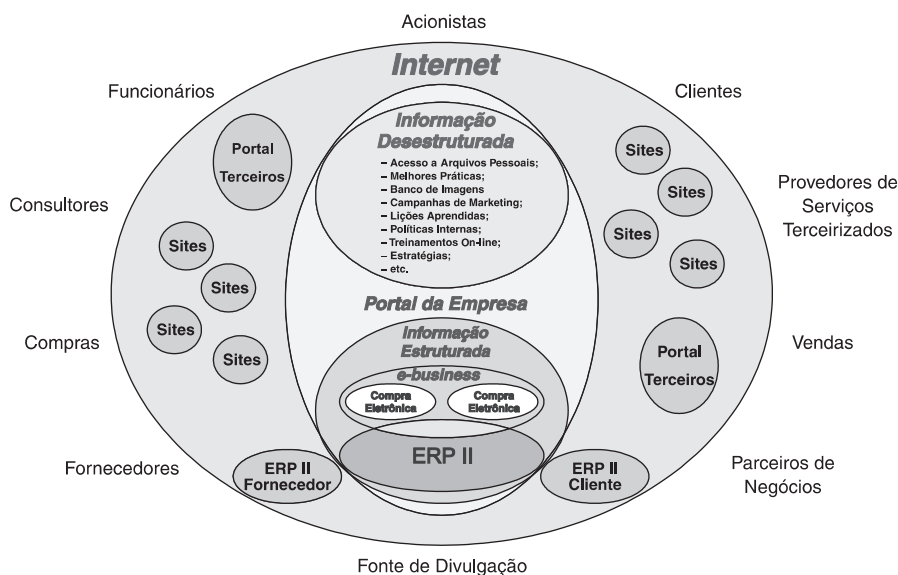


Figura 11.5. Organização “portalizada”.

## 11.2 DECISÃO DE INVESTIMENTO EM SI

As decisões de investimento em SI em uma empresa sempre dependerão da proporção, qualidade e integração das informações processadas por seus SIs atuais, sejam estas informações estruturadas ou não, bem como da importância das mesmas para o bom funcionamento de seus processos internos ou externos, e/ou para a obtenção de vantagens competitivas, ou, até mesmo, para equiparação de condições já apresentadas por seus concorrentes. Assim, dependendo do estágio em que uma empresa se encontre com relação a quantidade, qualidade, integração, processamento e disponibilização de suas informações, esta pode estar necessitando de diversos sistemas, cada um para a solução de um problema específico. Alguns exemplos de possíveis necessidades são: sistemas ERP (estruturar processos e integrá-los); CRM (estruturar e melhorar o relacionamento com os clientes); BI (facilitar o acesso às informações pelos níveis gerenciais e executivos, para apoio ao processo de tomada de decisão); soluções de *e-business* (promover integração com fornecedores, para redução de custos de estocagem) etc.

Antes da decisão de investimento em qualquer sistema de informação, primeiramente, deve-se relacionar as necessidades e/ou problemas existentes e entender quais as alternativas de soluções disponíveis no mercado. Pode-se, inclusive, descobrir neste instante que ainda não há solução já pronta para um ou mais problemas existentes. Isso significará que as soluções para problemas específicos deverão ser desenvolvidas internamente e/ou por terceiros contratados, caso as soluções queiram ser alcançadas.

Uma vez listadas as necessidades e/ou problemas existentes, deve-se ordenar as alternativas de investimento correspondentes, priorizando as soluções que mais contribuem para o atingimento dos objetivos estratégicos da organização e/ou que trarão retorno mais rapidamente. Para tanto, é fundamental o entendimento de como uma solução poderá apoiar um ou mais objetivos estratégicos. Esse apoio pode se dar de diversas maneiras, tais como: redução de custos; melhoria do serviço ao cliente; aumento da produtividade, ou da qualidade do produto; melhoria da tomada de decisões; redução do tempo de lançamento de um novo produto no mercado; melhoria da colaboração entre unidades de negócios; incremento das margens de lucro; aumento da base de clientes etc.

Essa priorização dos investimentos em SI, segundo o apoio dado aos objetivos estratégicos, visa orientar as empresas na decisão do que investir e em que seqüência cronológica fazê-lo, apesar de nem sempre ser uma tarefa simples, por envolver, em alguns casos, benefícios não quantificáveis, ou difíceis de se quantificar (intangíveis), bem como interesses conflitantes entre áreas beneficiadas por diferentes implantações.

Para apoiar essa análise, é preciso identificar, dentre as alternativas de investimento, quais as que possuem retornos quantificáveis e analisar sua viabilidade econômica. Isto é, haverá retorno sobre o investimento? Qual será e em quanto tempo ele se dará? Essa análise, especificamente, denomina-se ROI (*Return Of Investment*), mas diversas outras análises que determinam o impacto do investimento sobre o resultado da empresa, seu fluxo de caixa, entre outras, podem ser aplicadas. Para que sejam realizadas, deve-se compreender quanto o investimento trará em economias para a empresa e/ou alavancará seus resultados e/ou desempenho, de modo que se possa confrontar com o investimento a ser realizado.

Há alternativas de investimento, entretanto, que apesar de se saber que trará benefícios, não se tem como mensurá-los. Como mensurar o ROI, por exemplo, da implantação de um BI, que trará eficiência e confiabilidade ao acesso dos gestores às informações da empresa, economizando tempo de levantamento das mesmas, agregando qualidade de análise e consistência de informação, além de possibilitar uma maior proatividade, rapidez de reposta e disponibilidade de tempo para os gestores atuarem?

Já com as alternativas de investimento ordenadas e seus retornos devidamente entendidos, quando possível, deve-se analisar se elas estão relacionadas entre si e qual é o grau dessa relação. O conhecimento dessa relação é fundamental para que se entenda se a ordem das implementações deve

ser alterada, devido a alguma restrição de dependência, tal como uma restrição financeira. Assim, por exemplo, caso seja priorizada a implementação de um BI (*Business Intelligence*) antes da implementação de um ERP, isso poderá ser feito? Sim, poderá, dependendo de se ter dados necessários, disponíveis na organização, de alguma forma organizados, mesmo que em planilhas eletrônicas. Todavia, o ideal é partir de uma base de dados estruturada, como a de um ERP, como fonte de dados. Entretanto, pode ser que a necessidade de informação gerencial seja tão urgente, que não seja possível aguardar a implementação anterior de um sistema ERP, ou que o custo de uma implementação imediata de um BI em relação ao seu retorno seja pago tão rapidamente, que valerá a pena realizá-la de imediato. Assim, pode-se implementar primeiramente o BI, mas consciente de que após a posterior implementação do ERP, caso este chegue a ser implementado, um novo esforço e investimento deverão ser dedicados a uma nova implementação de BI, para adaptá-lo à nova base estruturada de dados, que passará a estar dentro do banco de dados do ERP.

### 11.3 ERP – ENTERPRISE RESOURCES PLANNING

A tradução direta de ERP do inglês significa *planejamento de recursos empresariais*, mas ele também é conhecido como sistema integrado de gestão empresarial, ou simplesmente, sistema de gestão empresarial.

#### 11.3.1 Principais características e funcionalidades

Um sistema ERP pode ser resumido como um sistema capaz de receber, controlar e processar, de forma estruturada e on-line, os dados inerentes à maioria dos processos de negócios internos realizados em uma organização, integrando as áreas funcionais em uma base de dados única. De um ponto de vista mais simplista, o ERP é um sistema único e integrado, que permite que a maioria, se não a totalidade dos processos de negócios das áreas funcionais de uma empresa, sejam tratados e gerenciados por seu intermédio. Em outras palavras, ele permite a interação e a troca consistente de informações entre sistemas especializados, que fazem parte de sua estrutura, como os de contabilidade, finanças, fiscal, comercial, de produção, abastecimento, distribuição, logística, recursos humanos etc. Por tratar dos processos internos das organizações, o ERP pode ser considerado a espinha dorsal para o *e-business*, que possibilita o tratamento dos processos externos, com base nos processos internos.

A adoção de sistemas ERP possibilita a melhoria do fluxo de informações, com aumento da integridade, consistência, agilidade de trânsito e acesso aos dados operacionais. Esses benefícios favorecem a adoção de estruturas organizacionais mais enxutas e conferem uma maior agilidade de resposta à organização, segurança na tomada de decisões, permitindo, conseqüentemente, um planejamento estratégico mais fundamentado.

Um dos grandes benefícios da utilização de ERPs está na adoção das melhores práticas de negócio, disponibilizadas pelas funcionalidades desses sistemas, que acabam por resultar no aprimoramento da gestão das empresas. As melhores práticas estão difundidas por todos os sistemas especializados que compõem os ERPs e vão desde uma solicitação/aprovação eletrônica de compras por níveis de competência, passando por um sistema eletrônico de qualidade que determina o nível de inspeção de cada recebimento, segundo o histórico de recebimento de cada item/fornecedor, até a disponibilização de políticas de remuneração mais atualizadas, com opções de cálculos de remunerações variáveis e de metas de desempenho, entre muitas outras. Como as diversas áreas de cada empresa, geralmente, encontram-se em estágios diferentes de gestão, há pontos possíveis de melhorias a serem explorados na maioria das áreas de uma empresa, com a implantação dos ERPs, através da utilização das melhores práticas por eles disponibilizadas. Assim, a adoção dessas melhores práticas, em geral, resulta no incremento da produtividade dos processos operacionais, além de auxiliar no controle de custos e redução de despesas, permitindo às empresas concentrarem seus esforços no melhor atendimento de seus clientes e na maximização de seus resultados.

As principais características de um sistema ERP são descritas a seguir.

- **Usa uma base unificada de dados.** A inserção e/ou atualização de uma informação em qualquer parte do sistema implica sua atualização em toda a base de dados. Isso garante que todas as áreas da empresa estarão operando com a mesma informação, evitando confusões, retrabalhos, perdas de tempo e de recursos. Anteriormente, quando os sistemas especializados ainda não estavam integrados em uma base de dados única, era comum haver informações discrepantes nas bases de dados dos diferentes sistemas. Isso ocorria em função de se atualizar uma ou mais bases, mas não todas, se esquecendo de uma ou mais, que usavam a mesma informação. Ocorria, por exemplo, de haver alguma alteração na estrutura de um produto, pela área de desenvolvimento, implementada pela área de engenharia e essa informação ser passada somente para a área de produção. A área de compras, não sabendo da alteração, quando calculava as necessidades de compras para ressurgimento das matérias-primas, baseando-se nas posições de estoque e nas estruturas de materiais desatualizadas, acabava por adquirir uma ou mais matérias-primas erradas e que não estavam mais sendo utilizadas. Atualmente, com a unificação da base de dados, ao ser feita qualquer alteração em uma estrutura de materiais do sistema, por exemplo, todas as áreas que usam essa informação (desenvolvimento, engenharia, compras, produção, custos etc.), passam a visualizá-la e desenvolver suas atividades com base na mesma informação.
- **Permite a troca de informações on-line.** Toda a informação inserida e/ou atualizada em qualquer parte do sistema é disponibilizada instantaneamente, já que a base de dados é unificada. Isso possibilita que todas as áreas que usam as mesmas informações possam utilizá-las de imediato. Isso é possível, pois os bancos de dados que suportam os sistemas ERPs são programados de modo a garantir integridade de cada informação entre as diferentes tabelas que a armazenam. Isso garante que não pode, ou, pelo menos não deveria haver, registros diferentes em nenhum dos campos das diferentes tabelas que armazenam uma mesma informação.

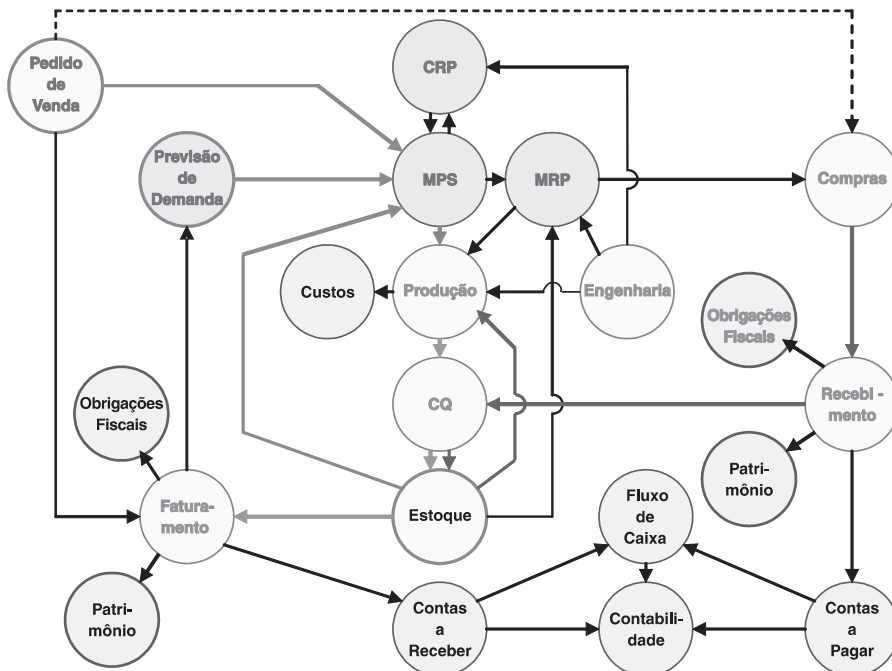


Figura 11.6. Ilustração simplificada da integração de algumas das áreas funcionais de uma empresa.

- **Permite a integração entre as áreas funcionais afins da organização.** A Figura 11.6 ilustra um exemplo de mecanismo de integração de processos e informações que transitam entre algumas das diversas áreas funcionais de uma empresa e que são suportados por uma ferramenta ERP. Essa figura mostra que, através do processo de integração direta entre as diversas áreas funcionais, acaba havendo uma integração natural entre as duas “extremidades” da empresa: desde a entrada, aquisição de insumos, à saída, venda de bens e serviços. Na Figura 11.6, a integração virtual é representada pela linha tracejada que liga essas extremidades.

As integrações diretas são representadas pelas linhas cheias, e elas representam a troca de informações via sistema, entre áreas funcionais. Para não aumentar a complexidade da figura, nem todas as integrações diretas foram ilustradas, apenas as principais. A explicação ou o detalhamento da integração apresentada pela Figura 11.6 poderia ser iniciada em qualquer uma das funcionalidades, representadas pelas circunferências, que, ao final do ciclo, retornaria ao ponto de partida, dado que as funcionalidades são integradas. Assim, o ponto de partida selecionado será a funcionalidade de recebimento e cadastramento de *pedidos de venda*, pela área comercial.

A área comercial recebe pedidos para venda de mercadorias de seus clientes. Esses pedidos alimentam o programa mestre de produção (*MPS*), juntamente com as informações oriundas das *previsões de demanda* e das posições dos *estoques* disponíveis dos produtos acabados a serem comercializados, com o objetivo de fazer a programação da produção e determinar quando, quanto e o que produzir de cada item acabado. Nesse instante, ainda não se sabe se haverá capacidade produtiva disponível suficiente para atender a programação prévia. Logo, antes de se aprovar o plano de produção, o *MPS* envia informações para o planejamento de recursos de capacidade (*CRP*), que também é abastecido de informações oriundas da *engenharia*, que é a área responsável por estabelecer os tempos, processos, equipamentos, quantidade de pessoal envolvido, estruturas de materiais, dentre outras informações necessárias para a produção de todos os itens da companhia.

Com base nas informações do *MPS* e da *engenharia*, o *CRP* analisa se o plano apresentado pelo *MPS* é factível. Se for, ele é aprovado, senão, ele deverá sofrer intervenções e alterações até que se torne viável. Uma vez aprovado o plano de produção elaborado no *MPS*, este alimenta o planejamento de necessidade de materiais (*MRP*), com as quantidades e instantes que cada produto acabado deverá ser produzido, para que seja calculado o que, quando e quanto de cada intermediário deverá ser produzido e/ou montado e o que, quando e quanto de cada matéria-prima deverá ser comprada. Para tanto, o *MRP* recebe também informações das estruturas de materiais da área de *engenharia* e das posições dos *estoques* disponíveis dos itens comprados e dos intermediários envolvidos nos processos produtivos dos itens acabados a serem produzidos. Feitos os ajustes necessários por parte do gerente de produção no planejamento sugerido pelo *MRP*, este autoriza à área de *produção* a fabricação e/ou montagem dos itens intermediários e acabados, e à área de *compras*, a aquisição dos insumos necessários calculados.

A área de *compras*, dependendo do processo de aquisição e parcerias adotadas, pode fazer desde cotações de compra no mercado, para análise comparativa e aquisição, até a solicitação automática de compra com empresas parceiras para a aquisição dos insumos necessários, via algum mecanismo de *e-business*.

Os fornecedores enviam os itens comprados para a empresa, que são recebidos pela área de *recebimento*. Ali são conferidas as notas fiscais e mercadorias recebidas, com as informações dos pedidos de compras enviados para os fornecedores, a fim de verificar se os itens entregues, a quantidade, a data, os valores, condições comerciais e fiscais estão de acordo com os termos de compra estabelecidos.

Todos os tributos (ICMS, PIS, COFINS, IPI, ISS, IR, entre outros) das notas fiscais recebidas alimentadas pelo *recebimento* são analisados e processados pela área de *obrigações fiscais*, que também é responsável por gerar todos os livros fiscais exigidos pelas fiscalizações das três esferas governamentais (federal, estadual e municipal).

Não havendo problemas com o recebimento, os valores e as condições de pagamentos especificados nas notas fiscais são confirmados pela área de *recebimento* e alimentam a área financeira de *contas a pagar* para que sejam programados os pagamentos acordados ao fornecedor.

Todas as compras abastecem de informações a área de *custos*, com relação aos valores e quantidades recebidas, que serão utilizadas para a apuração final dos custos da operação.

É importante observar que as áreas de *compras* e de *recebimento* também são responsáveis por todas as entradas de itens na empresa, mesmo os que não serão consumidos no processo produtivo. Vale a pena citar os itens que incorporarão o ativo imobilizado da empresa, tais como máquinas, equipamentos, mobiliário etc., por terem um tratamento bastante diferenciado dos insumos. Esses itens, uma vez recebidos, passarão a ser gerenciados pela área de *patrimônio*, que passará a controlar suas vidas úteis, depreciações etc. Essa área se integrará com a área de *contabilidade*, gerando, inclusive, os cálculos de depreciação necessários para o abatimento do imposto de renda (IR).

A área de controle de qualidade (CQ) mantém registros históricos das inspeções de qualidade realizadas dos fornecimentos de cada fornecedor para a empresa, quanto ao atendimento da quantidade, qualidade, prazo e especificações dos itens comprados e entregues. Essa área mantém também todas as especificações dos produtos e respectivas variações aceitáveis para recebimento, bem como o registro da criticidade<sup>3</sup> de cada item para a operação. Assim, dependendo do histórico das inspeções de qualidade do fornecedor e da criticidade do item recebido, o CQ dinamicamente enquadra o fornecedor em um nível de inspeção (severo, normal, atenuado), que determina se todos, ou apenas alguns recebimentos, selecionados aleatoriamente, serão inspecionados. Com isso, o item recebido em um determinado recebimento poderá ou não passar pela inspeção do CQ.

Se o item for reprovado pela análise de sua qualidade, é separado em estoque para ser devolvido, e o fornecedor é reclassificado em um nível mais rigoroso de inspeção. Caso seja aprovado, o item é liberado em estoque para ser utilizado, o que permite que a área de *produção* possa visualizar esse novo saldo recém-liberado em estoque.

A área de produção recebe os planejamentos de produção de itens acabados do MPS e dos itens intermediários do MRP. Recebe, ainda, informações dos procedimentos de produção e lista de materiais da *engenharia*. Identifica o saldo disponível dos insumos disponíveis em *estoque* e faz requisições dos mesmos para a efetivação da produção. Ao concluir a produção, abastece de informações a área de custos, quanto ao tempo gasto de cada máquina, processo, número de funcionários envolvidos, perdas, quantidades de insumos consumidas, entre outras informações fundamentais para a correta apuração dos custos de produção.

O material produzido passa a ser visualizado no sistema pela área de CQ, ao passo que é fisicamente transferido para uma área segregada em estoque até que seja liberado ou rejeitado pela inspeção da qualidade. Se for aprovado, seu saldo passa a ficar disponível em estoque para atender ao pedido de um cliente específico, dependendo da política de venda, ou simplesmente passa a estar disponível para a área comercial, a fim de ser vendido.

A área de expedição realiza o *faturamento* dos itens constantes nos pedidos de venda dos clientes, emitidos pela área comercial, que foi o ponto inicial desta explicação.

As informações das notas fiscais emitidas pelo *faturamento* alimentam o *contas a receber* da área financeira com os valores e as condições de pagamento que cada cliente acordou com a área comercial. Alimentam também a área de *obrigações fiscais* com todos os tributos (ICMS, PIS, COFINS, IPI, ISS, IR etc.) das notas fiscais emitidas. Finalmente, as informações de faturamento são utilizadas

<sup>3</sup> Criticidade – É a medida que determina quão crítico ou qual o nível de comprometimento do item em relação ao processo de fabricação e ao controle de qualidade. Em geral, há três níveis de criticidade: X, Y e Z. A falta ou não-conformidade de itens com criticidade “X” pode representar uma parada na produção, o que indica que estes devem ter um controle de qualidade mais rigoroso. A falta ou não-conformidade de itens com criticidade “Y” pode afetar parcialmente a produção, gerando problemas de custo, atraso, entre outros, mas sem paralisar o processo. A falta ou não-conformidade dos itens com criticidade “Z” não afeta a produção, o item pode ser reprocessado ou direcionado.

pelos cálculos de *previsões de demanda*, que alimentarão o *MPS* e darão a base do planejamento de capacidade e de ressurgimento de compras para períodos futuros, em que ainda não há pedidos firmes de vendas colocados pelos clientes.

Semelhante ao que já foi dito anteriormente com relação à área de *patrimônio* para a compra de ativos imobilizados, a área de *faturamento* também é responsável por todas as saídas de itens na empresa, mesmo os que não serão consumidos no processo produtivo. Assim, os itens patrimoniais comercializados são faturados por essa área.

Finalmente, as informações de *contas a pagar* e *contas a receber* permitem gerar o *fluxo de caixa*. Esses três sistemas, juntamente com as posições de *estoque* valorizadas, *custos* calculados, balanço do *patrimônio* e *obrigações fiscais*, alimentam a *contabilidade* para apuração dos resultados do processo.

- **São sistemas modulares, parametrizáveis que se adaptam às necessidades de cada empresa.**

Cada uma das funcionalidades apresentadas na Figura 11.6 corresponde a um módulo integrante do sistema ERP. Em geral, esses sistemas são constituídos por muitos mais módulos que os apresentados na figura, agrupando-se nas principais áreas funcionais de uma organização, tais como finanças, suprimentos, manufatura, distribuição, comercial, qualidade, recursos humanos e manutenção. Dos módulos apresentados na Figura 11.6, por exemplo, pode-se agrupar CRP, MPS, MRP, engenharia e produção na área de manufatura; compras e recebimento na área de suprimentos; ou pedidos de venda e previsão de demanda na área comercial. Como exemplo de alguns dos muitos outros módulos existentes e não apresentados no exemplo da Figura 11.6, pode-se citar manutenção industrial, chão de fábrica, investimento, folha de pagamento, cargos e salários, orçamento, entre vários outros e, inclusive, podendo ter funcionalidades diferentes entre fabricantes distintos. Por exemplo, uma solução ERP pode conter um mecanismo de aprovação eletrônica, por nível de competência, para agilizar as aprovações/reprovações de cotações e solicitações de compras, por intermédio do sistema, através de assinaturas eletrônicas (senhas) para autorização/reprovação. Não obrigatoriamente todas as demais soluções de ERP disponíveis no mercado terão essa funcionalidade.

Além das principais áreas citadas, as diversas soluções ERP disponíveis no mercado costumam apresentar funcionalidades agregadas que as diferenciam entre si, tais como ferramentas EDI (*Electronic Data Interchange*), WMS (*Warehouse Management System*), CRM (*Customer Relationship Management*), BI (*Business Intelligence*), BSC (*Balanced Scorecard*), entre outras.

Cada empresa que opta por utilizar o sistema pode implantar e utilizar apenas os módulos de seu interesse. Isso significa que há a possibilidade de se fazer implementações específicas para atender às características dos diferentes negócios. Existe ainda a possibilidade de agregar posteriormente módulos adicionais, não implantados em um instante inicial.

Entretanto, para que algumas funcionalidades operem de forma otimizada, é necessário que esteja integrada a alguns outros módulos, que com ela se relacionem diretamente. Logo, a implantação de um módulo de compras, ou um de produção, por exemplo, sem um módulo de estoque pode até ser possível dependendo do sistema, mas, definitivamente, estes funcionarão com significativas restrições. O que geralmente ocorre quando a empresa opta por não implementar uma opção integrada completa para sua necessidade é implementar apenas um conjunto de módulos que se relacionam diretamente em uma determinada área, para atender a uma necessidade específica, muitas vezes não suportada por outros sistemas já implantados. Assim, como exemplo, a empresa pode optar por implantar os módulos de estoque, compras, recebimento, que são da área de materiais e não implantar os das demais áreas. Pode optar também por implantar os módulos financeiros, de contas a pagar, contas a receber, contabilidade e fluxo de caixa e também não implantar o restante das demais áreas, entre outras combinações em que haja alguns módulos que se relacionam operando integrados. Em caso contrário, é melhor optar por

algum sistema especializado, a ter apenas alguns módulos de um sistema ERP que não se relacionem diretamente, pois ele operará fragmentado e não integrado. Em suma, quanto mais abrangente ou completa for a implementação da solução em uma empresa, isto é, quanto mais áreas funcionais forem cobertas e integradas por módulos de uma mesma solução ERP, maior será a facilidade e eficiência que as informações fluirão e poderão ser acessadas, o que pode resultar na redução de recursos, por parte dos funcionários, para a realização de suas atividades.

Além de os sistemas serem modulares, cada módulo opera obedecendo a um conjunto de parâmetros que lhe permite se adequar, ou se aproximar, ao máximo, das características e particularidades da empresa que o utiliza. Assim, por exemplo, pode-se definir, dependendo da solução ERP escolhida, que a produção de alguns ou até de todos os itens seja controlada em lotes, em vez de seqüencial, ou que as compras de todos ou apenas de alguns itens sejam indicadas pelo monitoramento dos pontos de pedido do estoque, em vez de vir do MRP, ou que o frete esteja ou não incluso no preço de venda ao consumidor final de alguns itens, ou até de apenas alguns itens de alguns clientes, além de parametrizar quais módulos estão ativos e integrados, entre muitos outros. Para se ter a correta dimensão da abrangência e complexidade desses sistemas, em geral, considerando todos os seus módulos, alguns chegam a possuir algumas centenas, quando não milhares de parâmetros.

Com isso, pode-se observar que os sistemas ERPs são soluções genéricas, com capacidade de abranger, com boa flexibilidade, uma significativa diversidade de operações com características distintas, podendo, inclusive, operar totalmente diferenciado, seja pela quantidade de módulos implantados, seja pela parametrização adotada, permitindo um alto índice de adequação da solução à necessidade de cada empresa. Entretanto, sempre pode haver a necessidade de se desenvolver/personalizar, dentro do próprio sistema, alguma particularidade característica do processo e não prevista pela solução ERP adotada. Isso permite que se possa utilizar os demais benefícios do sistema, integrados a uma ou mais particularidades características do processo.

- **São sistemas multiempresas.** São sistemas desenvolvidos para atender grupos empresariais que possuam mais de uma empresa, armazenando seus dados e processando suas informações dentro de uma mesma base de dados integrada. Assim, uma empresa que possui, por exemplo, uma fábrica em um estado (unidade da federação) e dois CDs em outros dois estados diferentes, pode operar suas três unidades integradas dentro do mesmo sistema ERP.
- **Podem ser integrados aos sistemas de outras empresas.** Os softwares ERP podem trocar informações com outros sistemas de outras empresas e até da própria empresa que não façam parte de sua solução integrada. A maioria das soluções já possui algum tipo de ferramenta de integração incorporada. Essas ferramentas podem ser desde módulos de EDI (*Electronic Data Interchange*), que permitem a troca de apenas um conjunto especificado de informações, passando por soluções que permitam a completa integração entre sistemas ERPs de mesmo fabricante, mas implantados em diferentes empresas, até a integração total permitida pelos ERPs II, que abrangem, inclusive, a integração entre ERPs de diferentes fabricantes.

### 11.3.2 Escolha de um software no mercado

Para que esta escolha seja realizada, é necessário o entendimento prévio das necessidades do negócio que precisam ser atendidas pela ferramenta ERP. Essas necessidades devem ser inicialmente relacionadas por áreas, tais como contas a pagar, contas a receber, contabilidade, fluxo de caixa, tesouraria, obrigações fiscais e orçamento (área financeira), MRP, MPS, CRP e produção (área de manufatura) etc.

Após relacionar as necessidades a serem atendidas por áreas, estas devem ser detalhadas em funcionalidades imprescindíveis, desejáveis e de possível uso futuro, atribuindo-se peso a cada uma des-



sas opções. Um possível critério a ser adotado para esses pesos é: 1 – possível uso futuro; 2 – desejável; e 3 – imprescindível. O ideal é que cada área da empresa especifique os três tipos de necessidades e funcionalidades, classificando-as em função de seus processos. Assim, por exemplo, a área de manufatura especifica em que é imprescindível um mecanismo de planejamento dos recursos de capacidade (CRP – *Capacity Resource Planning*) e que este tenha como funcionalidade o tratamento da taxa de carregamento de horas por centro de custo, desmembrado por estações de trabalho, que permita, entre outras funcionalidades específicas:

- a colocação de tempos de preparação (*setup*) por equipamentos;
- a alocação de funcionários por centro de custo;
- a parametrização de custos horários de produção.

Parte I da avaliação: requisitos funcionais do sistema:

Geralmente, a relação detalhada de funcionalidades classificadas entre imprescindíveis, desejáveis e de possível uso futuro pode chegar a algumas centenas de itens, que são utilizados para pontuar e comparar diferentes soluções de ERP. Essas relações são enviadas para os fornecedores, para que preencham as informações relativas aos seus softwares conforme critério a ser previamente definido pela empresa solicitante. Como exemplo de critério de preenchimento, pode-se adotar que cada uma das funcionalidades relacionadas para o fornecedor do ERP receba pontuações conceituais, tais como: 0 – Não atende a funcionalidade; 1 – Interface terceirizada requerida; 2 – Atende parcialmente a funcionalidade (necessidade de customização, ou custos adicionais) e; 3 – Atende completamente a funcionalidade. Outros critérios conceituais podem ser adotados. A solução de maior pontuação tem uma maior adequação às necessidades globais da empresa e, possivelmente, será a que deverá passar por um menor nível de personalizações e adaptações. Todavia, deve-se fazer uma análise mais detalhada dos resultados obtidos em cada área isolada, bem como entender quais necessidades, se atendidas, mais impactam positivamente os objetivos estratégicos da empresa e, se necessário, pontuá-las com pesos maiores que as demais, para a contagem final dos pontos.

Parte II da Avaliação: posicionamento estratégico

É fundamental que nesta análise sejam consideradas informações estratégicas, tais como se o sistema suporta uma expansão internacional da empresa e poderá ser utilizado em outros países, ou se ele está preparado para se integrar aos sistemas de outras empresas parceiras, através de uma ferramenta de *middleware* incorporada ao próprio sistema etc.

Com relação à necessidade de integração com ERPs de empresas parceiras, ou a sistemas legados (sistemas já existentes antes da implantação do ERP e que permanecerão em funcionamento), deve ser observado que os custos, prazos, necessidades de customização dos programas existentes para permitir a integração, bem como a flexibilidade das ferramentas de integração variam muito dependendo da solução adotada. Esse é um ponto fundamental de análise para a seleção do ERP, pois pode-se economizar momentaneamente no custo de implantação da solução ERP selecionada, sem atentar para a necessidade de integração e, posteriormente, incorrer em custos de integração que em muito suplantem os de implantação de um ERP propriamente dito.

Antes de realizar qualquer análise de funcionalidade, como a apresentada anteriormente, e incorrer em um enorme consumo desnecessário de tempo, sugerimos entender qual é a restrição orçamentária da empresa para essa implementação. Ocorre que há soluções ERP em diferentes patamares de valores e destinadas a determinados portes de empresas (pequenas, médias e grandes). Um mesmo fabricante pode ter diferentes soluções destinadas a empresas de diferentes portes. O objetivo é realizar a análise de funcionalidade entre sistemas que sejam financeiramente viáveis para a empresa poder adquirir e implantar.

É aconselhável que, durante o processo de escolha, seja solicitado ao fornecedor da solução a apresentação de outras empresas que já implantaram o sistema em questão, para que se possa visitá-la e constatar *in loco* a veracidade das informações prestadas, no que tange a eficácia das funcionalidades, nível de satisfação dos clientes, problemas existentes e enfrentados, necessidade de personalizações etc.

É aconselhável também que as visitas sejam realizadas em empresas com atividades e processos semelhantes aqueles em que se está querendo implantar a solução de ERP. Pois se o sistema encontra-se em bom funcionamento em uma empresa de metal-mecânica, não necessariamente terá todas as funcionalidades necessárias para garantir o mesmo bom funcionamento em uma empresa fabricante de fármacos, por exemplo.

Finalmente, dentro do processo de escolha da solução, há a necessidade de detalhamento de todos os custos envolvidos e previstos, que podem variar de critério entre fornecedores e, em geral, se resumem a:

- **Licença de uso do ERP.** Aquisição do direito de usar o software. Essa aquisição pode ter um valor único por um conjunto de módulos, para sistemas direcionados para pequenas empresas, em geral, e pode ter um valor por módulo, em geral, para empresas de médio e grande porte. Ela pode ou não depender do número de usuários que acessar o sistema. Vai depender da política comercial do fabricante do software (*softwarehouse*). É importante analisar e negociar as questões contratuais, principalmente no que tange ao direito de a empresa contratante ficar com os programas fontes no caso de falência da *softwarehouse*.
- **Licença de uso do banco de dados.** A maioria dos sistemas opera sobre plataformas de bancos de dados das quais não são proprietárias, tais como Oracle, SQL Server, Progress etc. Quando isso ocorre, há a necessidade de se adquirir a licença de uso do banco de dados também.
- **Taxa de manutenção.** Se houver necessidade de aquisição do banco de dados, então serão duas taxas, a do banco de dados e a do ERP. No caso do banco de dados, geralmente se paga uma taxa anual. No caso do ERP, a taxa de manutenção é mensal e, geralmente, é determinada pelo número de usuários com acesso. Pode-se optar por operar com licença de uso para 20 usuários, tendo uma empresa com 40 usuários com permissão de acesso ao sistema. Apenas 20 poderão acessar simultaneamente. Nesse caso, está se considerando que vários usuários acessam o sistema em momentos estanques, o que gera uma flutuação do número de licenças em uso a cada instante, não havendo a real necessidade de se ter uma licença para cada um dos 40 usuários com permissão de acesso ao sistema.

Essas taxas garantem o direito de suporte técnico ao sistema e ao banco de dados, além das atualizações de versões.

- **Aquisição dos equipamentos necessários.** Este item pode ou não se concretizar em um investimento inicial. A empresa pode adquirir os equipamentos (hardwares) necessários, que, nesse caso, serão um investimento, ou pode, como alternativa ao investimento inicial, fazer um leasing, contratar um provedor ASP (*Application Service Provider*), ou ainda contratar um provedor BPO (*Business Process Outsourcing*), que serão explicados a seguir, entre outras alternativas viáveis. Essas três últimas alternativas não resultam em investimento inicial. O importante é compreender a real necessidade de servidores e estações de trabalhos com configurações mínimas necessárias de hardware para suportar o bom funcionamento do ERP dentro da empresa.

Um provedor ASP (*Application Service Provider*) é um fornecedor de serviços de hospedagem de softwares e/ou hardwares para empresas que optam por não internalizar, isto é, colocar dentro das próprias empresas, suas centrais de dados (*Data Centers*). O acesso das empresas aos softwares e/ou hardwares hospedados no provedor ASP se dá através protocolos padrões, tais como HTTPS (*Hyper Text Transfer Protocol Secure*), ou através do uso de linhas privadas

(LP), por exemplo, que ligam a empresa diretamente ao provedor, ininterruptamente, ou através de VPNs (*Virtual Private Network*).<sup>3</sup>

Os provedores ASP podem fornecer todo o equipamento (*hardware*), além do suporte e infra-estrutura, para que a contratante apenas hospede os seus sistemas (softwares), ou pode apenas oferecer o espaço para que a contratante hospede tanto os seus próprios equipamentos quanto os softwares. Nesse último caso oferece somente o suporte e uso da infra-estrutura. Há casos em que os provedores ASP fornecem a utilização do software também incluso no serviço.

O que leva as empresas a optarem por um provedor ASP é que o processo de internalização de sua central de dados (*Data Center*) implica não apenas o investimento em hardwares, mas também a necessidade de manutenção e freqüente atualização desses equipamentos para suportar a evolução dos sistemas, que cada vez mais, requerem equipamentos com maiores capacidades de processamento e armazenamento. Além disto, o processo de internalização implica:

- responsabilidade pelo suporte técnico;
- manutenção de equipes de informática para manter os serviços atualizados e em funcionamento ininterruptamente (24 horas por dia, sete dias na semana);
- manutenção de políticas de:
  - segurança de informação – ataques de vírus, invasões de *hackers*, cópias dos dados, *back ups* etc.;
  - física – mecanismo de proteção contra picos e falta de eletricidade – *no break*, detectores de fumaça etc.;
  - eletrônica – conserto de equipamentos, defeitos e mau funcionamento;
  - continuidade do negócio – em caso de incêndio, inundações, desabamentos etc.

No caso da contratação do provedor ASP, toda essa infra-estrutura citada se encontra incluída no valor do serviço, que, por ser rateado por muitos clientes, geralmente resulta em valores bastante atrativos, principalmente quando comparado à alternativa de investimento inicial necessário para a internalização.

Um provedor BPO (*Business Process Outsourcing*) é um fornecedor especializado em soluções de processos e aplicações específicas para empresas, que inclui o software, a gestão dos processos contratados e o pessoal responsável pela execução do serviço. Assim, enquanto o modelo ASP fornece o serviço hospedagem, suporte e infra-estrutura para acesso a aplicações, o BPO faz parte da indústria de terceirização, se responsabilizando pela execução das atividades e gestão dos processos, além dos serviços ofertados pelo ASP. Alguns exemplos de provedores BPO são serviços terceirizados de contabilidade, folha de pagamento e recursos humanos.

Geralmente uma solução BPO não atende à totalidade das funcionalidades existentes na empresa contratante. Ela atende a um nicho específico.

- **Consultoria de implantação.** Este custo está associado à necessidade de entendimento dos processos internos da empresa, correção e/ou melhoramento dos processos necessários, parametrização do sistema, orientação para alimentação do banco de dados, teste de funcionalidades e treinamento do pessoal que irá utilizar o sistema. No caso de um ou mais processos serem terceirizados (BPO), esse custo pode ser muito reduzido, ou inexistente, para os processos em questão, apenas.
- **Customizações.** Este custo está relacionado à necessidade de adequação do software contratado às particularidades de processos da empresa. Os sistemas ERP são sistemas complexos que incluem algumas centenas, quando não milhares de programas que interagem entre si. Cada

<sup>3</sup> VPN – São redes privadas virtuais de comunicação utilizadas por uma ou mais empresas. As VPNs operam sobre redes de comunicação públicas como a Internet, utilizando protocolos padrões não necessariamente seguros para a realização do tráfego de dados. As VPNs seguras utilizam protocolos de criptografia.

programa está relacionado a uma ou mais funcionalidades. Em geral, quando se fala de customizar um sistema desses, fala-se em adequar algumas funcionalidades às necessidades da empresa. Portanto, personalizar significa alterar, corrigir ou fazer um programa que substitua o originalmente fornecido pela *softwarehouse* (fabricante do software) e que continuará interagindo com os demais programas existentes não-customizados.

O ideal é que não haja customizações. Mas, caso seja necessário, então, que o menor número de programas possível seja customizado. Inclusive essa é a orientação para a seleção do software fornecida no início deste tópico “Escolha de um software no mercado”, aquele que melhor se adapta ao processo, dentro das alternativas existentes. Neste instante, já se poderá ter noção da necessidade de customização e de uma estimativa desse custo.

Os motivos de as customizações serem indesejáveis são que, além de necessitar de tempo para seu desenvolvimento e teste, o que pode comprometer o prazo da implantação, há custos altos e recorrentes associados às mesmas, além de que uma personalização implica um programa geralmente não mantido e atualizado pela *softwarehouse*. Assim, como esses sistemas ERP estão em constante evolução e atualizações de versão, os programas customizados, que são pequenas partes dentro do sistema, não poderão ser atualizados pela *softwarehouse*. Essa não atualização poderá implicar a perda total, ou parcial, ou, ainda, a distorção da funcionalidade do programa customizado dentro da empresa que o utiliza, toda vez que houver alteração de uma versão. Caso um desses problemas ocorra, além de poder causar erros apenas localizados tardiamente e que necessitarão de correção, haverá a necessidade de correção do programa customizado, ou até mesmo será necessário que ele seja novamente refeito por parte da empresa, implicando novos custos.

Uma alternativa para a customização é redefinir os processos de negócio da empresa, quando possível, para que eles se aproximem da funcionalidade do sistema. Para essa alternativa, é fundamental considerar os impactos que a redefinição desses processos terão na eficiência dos processos em questão.

Há situações em que as empresas possuem processos específicos, já suportados por sistemas específicos e não abrangidos pelos ERPs e que não interessa customizar. Nesse caso, pode-se estudar a melhor forma de integrá-los, quando houver essa necessidade, e continuar operando com os sistemas específicos complementares, integrados ao ERP.

### Escolha da empresa que fará a implantação

Em geral, há várias empresas de consultoria competindo no mercado para fazer a implementação de cada uma das soluções ERPs existentes. Essas empresas, em geral, são classificadas como integradoras.

Há empresas credenciadas pela empresa fabricante do ERP (*softwarehouse*), bem como há outras não credenciadas. Sugerimos trabalhar com as credenciadas, devido às parcerias e comprometimento existentes com a *softwarehouse*. As não credenciadas, em geral, atuam para implantações de módulos complementares, em empresas que já possuem uma base implantada do ERP e são compostas por ex-consultores e/ou ex-usuários dos sistemas. Geralmente essas empresas, por não serem credenciadas nas *softwarehouses*, operam com preços mais atrativos, mas não têm acesso direto aos desenvolvedores, fontes dos programas e demais facilidades de que as empresas parceiras desfrutam.

Pode-se dizer que quase tão importante quanto a escolha do software ERP é a escolha do integrador. Assim, não basta verificar onde o sistema ERP encontra-se implantado, como sugerido no tópico anterior, mas também entender qual o integrador que o implementou. Verificar com a *softwarehouse*, entre os integradores que estão concorrendo para a implementação do ERP selecionado pela empresa, quais são credenciados, quais as implementações já realizadas por cada um deles, bem como os respectivos tempos despendidos e previstos.

Para a proposta de cada integrador, é fundamental entender a capacitação técnica de sua equipe e verificar e comparar o tamanho das equipes de consultores *seniores* (mais experientes e que já parti-

ciparam de outras implementações de sucesso), *plenos* (com experiência razoável) e *juniores* (pouco experientes) que participarão desse projeto, bem como o total de horas de cada um que serão destinados à implantação.

Finalmente, é fundamental analisar a solidez do integrador, certificando-se de que ele não apresenta sinais de encerrar suas atividades durante o processo de implantação do ERP. Isso pode ser feito analisando o número de clientes e consultores atuais, bem como datas de encerramento dos projetos em execução nos atuais clientes, entre outros.

### Processo de implantação

O sucesso de um projeto de implantação baseia-se no prazo, custo e qualidade de cada etapa, que, por sua vez, estão diretamente relacionados à escolha adequada do software.

Os processos de implantação de um ERP, em geral, são demorados e caros. A história tem demonstrado que implantações dessas soluções que abrangem todas as áreas da empresa, em média, duram pelo menos um ano, e para empresas de pequeno, médio e grande porte podem custar, respectivamente, algumas dezenas de milhares, centenas de milhares e milhões de dólares. Há variações de tempo e custo, dependendo da solução adotada, do tamanho da empresa, das funcionalidades contratadas (módulos), da organização atual das informações e dos processos da empresa, do número de consultores envolvidos, do grau de envolvimento/comprometimento dos funcionários e alta gerência da empresa etc.

Assim como há casos de muitos sucessos, reduções de custos e aumentos de produtividade, eficiência e resultados incríveis, há também registros de dezenas de casos de insucessos de implementações de ERP. Há registros de implantações abandonadas, inacabadas, de estouros de custos e/ou prazos, de empresas que faliram tentando implementá-los, devido aos seus altos custos subestimados, associados aos aumentos de produtividade e/ou redução de custos esperados, mas não alcançados, entre outros. Portanto, é muito importante que a análise de decisão de investimento em SI, descrita na Seção 11.2 tenha sido realizada adequadamente, a ponto de se concluir que a solução adequada para a empresa é um ERP. Pois ela deve ser encarada como uma forma de adquirir vantagem competitiva no mercado, ou de romper as barreiras que dificultam crescimento ou competição, e não como um “mal necessário”.

Recentemente, há algumas empresas que alegam implementar soluções completas de ERP em períodos significativamente reduzidos, como três meses, fundamentadas em discursos de experiência em implantações anteriores, lições aprendidas, gestão de conhecimento, treinamento intensivo de seus consultores e demais membros de sua equipe, escolha apropriada de software para o negócio que reduza o número de personalizações, reduzindo prazo e custo, entre outros argumentos. Entretanto, há que ponderar que há muita informação e entendimento a ser transferido/assimilado entre as equipes da contratante (cliente) e contratada (integradora) a respeito do negócio, particularidades existentes, além de muito trabalho a ser executado em tão pouco tempo. Isto é, há a necessidade de modelar processos, parametrizar o sistema, personalizar particularidades, integrar sistemas complementares, testar funcionalidades, migrar as bases de dados atuais para as do ERP e entrar em operação, geralmente em ambiente paralelo aos sistemas atuais e em todas as áreas implantadas da empresa, sem que se interrompa a execução das atividades que diariamente são realizadas! Muitas dessas implantações se traduzem em pacotes e padrões pré-estipulados de implantação, sem se adequar às necessidades específicas da contratante. A contratante é que se adapta às características do pacote a ser implementado. Posteriormente, ao término dessas implantações relâmpago, decorrido um tempo necessário a um maior entendimento das reais necessidades da contratante que não foram atendidas pelo ERP, que, geralmente leva uns dois a três meses, novo período de adequação é contratado para acertar as arestas, mas fora dos três meses inicialmente especificados de implantação!

A empresa contratante do serviço de implantação pode se resguardar, primeiramente solicitando visitas a clientes de mesmo porte, onde a implantação foi realizada em períodos semelhantes aos propostos. Essas visitas devem ser realizadas em empresas que terminaram suas implantações há pelo menos alguns meses, para se certificar de que nova rodada de consultoria não foi posteriormente requisitada, de modo a cobrir possíveis falhas deixadas pelo processo acelerado de implantação. Esse tipo de visita serve principalmente para se familiarizar com dificuldades enfrentadas, pontos fortes e fracos do fornecedor, grau de satisfação com o serviço prestado, além de conferir quais os prazos reais e se eles estavam de acordo com os prometidos. Veja detalhes complementares na seção “Escolha de um software no mercado”. Finalmente, pode-se amarrar contratualmente que, se o prazo de implantação for excedido, tendo sido cumpridos os prazos do projeto por parte do cliente, que, então, todas as despesas de consultoria corram por conta da contratada (integradora). Caso haja atraso por parte do cliente, a data de término do projeto pode ser prorrogada por período igual ao do atraso, desde que os atrasos sejam comprovados. O contrato ainda deve prever uma faixa de tempo limite, após o prazo final estabelecido para o projeto, prorrogado, ou não, para que a integradora finalize a implantação antes de ser multada. Isso garante a conclusão do projeto em um prazo administrável pelo cliente.

É importante entender que há pelo menos três partes envolvidas em cada implantação. Uma é a *softwarehouse* (fabricante do software), outra é a empresa de consultoria que prestará o serviço de implantação (integradora), que pode ser a própria empresa fabricante do software, e a terceira é a empresa contratante (cliente). Pode haver ainda outros envolvidos, como o caso de um provedor ASP (*Application Service Provider*), por exemplo.

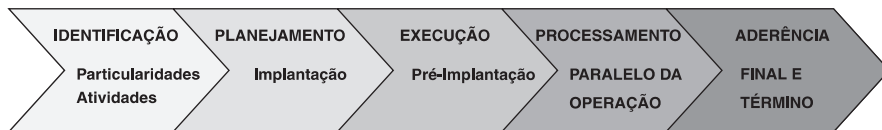
Os papéis desempenhados por cada uma dessas três partes no processo de implantação podem ser resumidos da seguinte forma:

- **Softwarehouse.** Atua na orientação da infra-estrutura necessária, bem como no ambiente de tecnologia a ser criado pela empresa (configuração de servidores, estações de trabalho, redes, ambiente ASP etc.). Atua também com orientações sobre os impactos das personalizações pretendidas sobre o projeto;
- **Integradora.** É responsável por uma boa parte do sucesso da implantação e tem de ter um elevado conhecimento da solução ERP selecionada. Para tanto, primeiramente, ela deve ter uma metodologia de implantação consistente, que garanta que os objetivos do cliente serão atingidos através de uma seqüência lógica de atividades programadas, realizáveis dentro dos prazos e custos propostos. Devendo, portanto, através do completo entendimento do escopo do projeto, detectar o momento de interagir com o nível executivo da empresa, sugerindo ações que devem ser tomadas para o bom andamento do projeto.

Ainda como parte do papel da integradora está a agregação de valor esperada para o negócio do cliente, com conseqüentes incrementos de eficiência, através de sugestões das melhores práticas. Estas, entretanto, devem ser aderentes aos processos da empresa cliente e possíveis de ser parametrizadas na solução ERP adotada, minimizando personalizações. Mas não basta que a integradora sugira as melhores práticas, ainda que aplicáveis e parametrizáveis na solução, se não souber conduzir o processo de transição e treinamento nas mesmas.

Finalmente, ela deve estar capacitada para treinar e formar o pessoal interno da empresa cliente para operar e administrar a solução ERP.

- **Empresa cliente.** Assim como são fundamentais as escolhas e os papéis desempenhados por cada um dos fornecedores, também é fundamental o entendimento da empresa cliente da significativa complexidade e da necessidade de comprometimento de sua equipe para o sucesso da implementação. Assim, o papel da empresa cliente começa com o comprometimento de sua alta administração com o sucesso do projeto de implantação, bem como da conscientização de todos os demais membros de sua equipe da importância do mesmo para o sucesso e



**Figura 11.7.** Fases principais da implantação de um ERP.

continuidade do negócio no mercado. A partir de então, deve haver a determinação dos usuários-chave das diversas áreas da empresa, que participarão do projeto com um alto grau de envolvimento e responsabilidade. Até porque são os membros de sua equipe interna que conhecem seu próprio negócio, suas particularidades e necessidades, mais do que qualquer consultor externo. Esses usuários-chave desempenharão papel fundamental na troca de informações com a equipe integradora. Serão também responsáveis por realizar o acompanhamento do cumprimento dos prazos, custos, necessidades de customização, bem como pela realização das homologações dos processos à medida que sejam implementados. Serão responsáveis ainda pela realização periódica do alinhamento de informações e *feedback* das expectativas da alta administração.

O processo de implantação de um ERP pode ser desmembrado em cinco fases principais, conforme ilustra a Figura 11.7.

**Fase I: identificação das atividades e particularidades.** Nesta fase há uma grande troca de informações entre a integradora e o cliente. A integradora necessita entender do negócio da empresa, levantar as características dos sistemas legados, isto é, em uso, caso existam, e quais as particularidades do processo que não podem ser atendidas pela solução ERP de modo a precisar das personalizações, e o que desses sistemas legados serão mantidos, devendo ou não ser integrados ao ERP. Diz-se “precisar das personalizações”, pois uma determinação prévia das personalizações necessárias já pode ser compreendida no processo de seleção do software, conforme orientado na Seção “Escolha de um software no mercado”. O cliente, por sua vez, necessita ter os participantes do projeto treinados na utilização do sistema, para, inclusive, poder entender os recursos e as possibilidades de parametrização para atender as necessidades do negócio.

**Fase II: planejamento da implantação.** Nesta fase determinam-se as atividades e os prazos a serem desempenhados pelos integrantes do projeto, tanto da integradora, como do cliente, para que o prazo total da implantação previamente acordado seja cumprido. É nesta etapa que se planeja a conversão dos dados dos sistemas legados, caso existam, para o banco de dados da solução ERP. Se for o caso, definem-se o levantamento e a organização de dados históricos, ainda não sistematizados, mas que deverão ser inseridos na solução ERP. Definem-se todos os cadastros, parametrizações e personalizações necessárias, bem como os sistemas legados que permanecerão em funcionamento e a melhor forma de integrá-los ao ERP, quando for o caso.

**Fase III: execução da pré-implantação** – É nesta etapa que se desenvolve, testa e disponibiliza para uso as personalizações e os programas de interfaces entre o ERP e os sistemas legados que permanecerão em uso. Realizam-se as parametrizações necessárias, bem como o carregamento dos dados iniciais no banco de dados do sistema. A seguir, testam-se os novos ambientes de trabalho e realizam-se as simulações de processamento, com o objetivo de localizar possíveis pontos falhos ou deficiências ainda existentes entre os procedimentos propostos e os que estão em uso. Testa-se também a adequação dos novos procedimentos a serem implementados. Por fim, documentam-se todos os procedimentos associados ao sistema e treinam-se todos os usuários que farão uso do sistema, nos ambientes específicos a que terão acesso.

Quanto ao treinamento dos funcionários, é aconselhável que haja sempre mais de um treinado em cada ambiente/atividade específico, com o objetivo de gerar uma redundância operacional. Isto é,

de modo que não haja a paralisação de um ou mais processos devido a faltas, férias, demissões do único funcionário treinado, entre outras alternativas de ausência.

Nesta etapa, deve haver constante monitoramento, revisão e atualização dos prazos, a fim de localizar rapidamente possíveis gargalos e etapas atrasadas, ou por atrasar, para que planos de ação sejam feitos com o objetivo de garantir a conclusão do projeto dentro do prazo previsto.

**Fase IV: processamento paralelo da operação.** Nesta fase o sistema está apto a entrar em operação. Todavia, antes que se desliguem os sistemas legados, programados para serem desligados, inicia-se o uso do sistema ERP paralelamente aos sistemas e procedimentos anteriormente praticados. Nesta etapa pequenos ajustes ainda podem ser necessários, seja nas personalizações e/ou nas parametrizações. Durante esta etapa, boa parte das dúvidas de operação do sistema, remanescentes dos treinamentos, são esclarecidas, e assim que o sistema estiver atendendo a todas as necessidades a que se propôs e for homologado pelo cliente, passa-se à próxima fase. Em geral, a etapa de processamento paralelo é programada para não ser muito extensa, durando, no máximo, um mês, haja vista que cada atividade é realizada em duplicata, exigindo um esforço demasiado de toda a equipe envolvida.

**Fase V: aderência final e término da implantação.** Nesta fase, com a estabilização do sistema alcançada na fase anterior, encerra-se o processamento paralelo e desligam-se os sistemas legados, programados para ser desligados. A partir desse instante, começa-se operar somente com os novos procedimentos, com o ERP e sistemas legados programados para permanecer em uso, integrados ou não ao ERP. Espera-se que nesta fase os usuários do sistema já estejam bem treinados no seu uso e que não haja mais ajustes a serem feitos. Em geral, ainda há algumas dúvidas a respeito do uso do sistema que ainda foram esclarecidas, que é o que se denomina aderência, iniciada na fase anterior. O nível de consultoria se reduz drasticamente, até seu encerramento, mediante a homologação final de entrega do projeto por parte do cliente. A partir desse instante, os usuários da empresa passam a utilizar o suporte da *softwarehouse* para esclarecimento de dúvidas, correção de problemas de sistemas identificados, atualização de versões, entre outras necessidades.

## Softwarehouses

Alguns exemplos de *softwarehouses* nacionais são a **Datasul** e a **Microsiga**. No mercado internacional pode-se citar a **Oracle** e a **SAP**, inicialmente focadas em empresas de grande porte. Com o passar dos anos, como o mercado para implantação de ERPs em empresas de grande porte praticamente se extinguiu, à medida que os ERPs foram implementados, ambas lançaram sistemas simplificados para competirem nos mercados com empresas de portes menores, que ainda apresentam um significativo potencial de negócios.

Neste segmento das *softwarehouses*, as maiores empresas cada vez mais vêm adquirindo concorrentes menores, como foi o caso das aquisições da Jd Edwards e da People Soft pela Oracle, o que tem reduzido o número de grandes competidores no mercado.

## 11.4 E-BUSINESS

O termo *e-business* vem do inglês “*eletronic business*” e consiste no uso de meios eletrônicos e de sistemas de informação automatizados para o estabelecimento de processos de negócios, conexão, comunicação, colaboração, dentre outras funcionalidades, entre uma empresa e seus clientes, fornecedores e demais provedores de negócios. Portanto, *e-business* é uma estratégia ampla, que enfatiza processos de negócios e demais funções executadas entre partes, através de meios eletrônicos, por toda a cadeia de valor estendida, englobando o *e-commerce* (B2B, B2C e C2C), o *e-government* (B2G e G2C) e o *c-commerce*, explicados posteriormente.



Atualmente, o *e-business* é predominantemente praticado com base na tecnologia da *Web*,<sup>4</sup> podendo ser realizado por meio de um ou mais recursos combinados, tais como Internet,<sup>5</sup> *intranets*,<sup>6</sup> *extranets*,<sup>7</sup> EDI (*Electronic Data Interchange*) etc.

#### 11.4.1 E-commerce

O termo *e-commerce* vem do inglês “*eletronic commerce*” e não engloba somente as transações comerciais realizadas através de meios eletrônicos interconectados à rede global. Ele é bem mais amplo, abrangendo desde a compra, o processo on-line de exposição de produtos e marketing, até a comercialização, distribuição, atendimento do cliente, quando necessário, e monitoramento e pagamento dos bens e serviços realizados através de sistemas eletrônicos como Internet, intranet, extranet etc.

As três principais modalidades de *e-commerce* praticadas e/ou patrocinadas pelas empresas são B2B, B2C e C2C.

- **B2B (*Business to Business*)**. Esta modalidade envolve uma infinidade de possibilidades de conexões eletrônicas diretas entre empresas, ou através de *mercados eletrônicos (e-marketplace)*. No caso de conexões diretas entre empresas, uma empresa pode, por exemplo, permitir o acesso de clientes e de fornecedores por meio de extranet ao seu banco de dados de estoques e/ou pode disponibilizar na Internet, ou extranet, catálogos de seus produtos a serem acessados por suas empresas clientes, através de um Web site seguro, e/ou realizar o gerenciamento de sua cadeia de suprimentos – SCM (*Supply Chain Management*). Uma outra maneira de conexão eletrônica direta entre empresas pode ser feita por intermédio do EDI (*Electronic Data Interchange*), que permite, através da Internet, extranet ou outras redes, a troca eletrônica de dados entre empresas, tais como documentos comerciais de pedidos de compra, notas fiscais eletrônicas e confirmação de entrega. No caso de conexão através de *mercados eletrônicos*, por exemplo, portais B2B oferecem leilões e mercados de trocas para empresas.

Os *mercados eletrônicos* consistem em um ambiente eletrônico de troca, que integra os sistemas de busca (*e-procurement*<sup>8</sup>) dos clientes (compradores) com os sistemas de atendimento (*fulfillment*) dos fornecedores, através de um único processo padronizado de transações de negócios, utilizando tecnologias da Internet. Os *mercados eletrônicos* atendem também às outras modalidades de *e-commerce* (B2C e C2C), bem como ao *e-government*. No caso do B2B, especificamente, os ambientes dos *mercados eletrônicos* permitem o relacionamento simultâneo de múltiplas empresas participantes, com custos de transações reduzidos, quando comparado ao uso de EDI (*Electronic Data Interchange*), que foi a tecnologia precursora do *e-commerce* B2B e ainda é significativamente utilizada. As redes EDI utilizam conexão ponto a ponto entre empresas, sendo que cada via de transação corresponde a uma conexão para envio de documen-

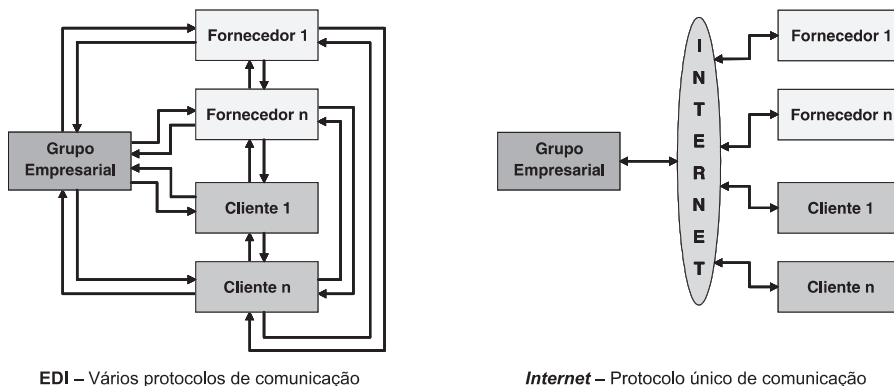
<sup>4</sup> *Web* – É um sistema de documentos interligados através da Internet e também conhecido como “WWW”, ou “*World Wide Web*”, que pode ser entendido como rede de alcance mundial.

<sup>5</sup> *Internet* – É um conglomerado de redes de computadores, globalmente interconectados, que viabiliza o acesso a informações e a transferência de dados, pública, ou privadamente, através de comunicações que utilizem os protocolos TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), extensões e/ou demais protocolos compatíveis com o IP.

<sup>6</sup> *Intranet* – São redes privadas de computadores (*LAN – Local Area Network*), não conectadas à Internet.

<sup>7</sup> *Extranets* – É o compartilhamento seguro parcial dos sistemas de informação de uma empresa, através da Internet. A *extranet* pode ser destinada a usuários internos e/ou externos à empresa, devidamente registrados, com permissões de acesso à parte privada de um site específico que conecta a empresa na Internet, autenticadas por uma relação de usuário e senha.

<sup>8</sup> *e-procurement* – É uma importante ferramenta de *e-business* utilizada por compradores e vendedores de empresas, compradores do governo e por consumidores. Seu processo visa à busca por fornecimentos de bens e serviços, com o menor custo total, na quantidade desejada, na qualidade acordada, entregue no instante e local desejados. Web sites de *e-procurement* permitem a qualificação e registro de usuários que buscam fornecedores e/ou compradores de bens e serviços. Nesses sites é possível especificar preços desejados, ou fazer lances, conceder/obter descontos e ofertas especiais, iniciar e concluir transações comerciais de compra e venda.



**Figura 11.8.** Comparativo das tecnologias praticadas no EDI e no *mercado eletrônico*.

tos. A Figura 11.8 ilustra a evolução e conseqüente simplificação dos protocolos de conexão da tecnologia EDI para a praticada pelos *mercados eletrônicos*.

Em geral, a utilização dos métodos de *e-commerce* B2B aproxima as empresas de seus fornecedores e parceiros, conferindo maior eficiência e flexibilidade de operação às cadeias de suprimentos, através da troca e compartilhamento de dados entre os sistemas de informação das empresas envolvidas, permitindo que as expectativas e necessidades de seus clientes sejam mais bem atendidas.

- **B2C (*Business to Consumer*)**. Esta modalidade visa à comercialização eletrônica de bens e serviços de empresas para consumidores finais. Os *mercados eletrônicos* (Web sites de *e-commerce*) destinados a esta modalidade, em geral, apresentam funcionalidades como sistemas de gerenciamento de busca, catálogos multimídia, processamento interativo de pedidos, sistemas seguros de pagamento eletrônico, como o *carrinho eletrônico de compra*<sup>9</sup> e, em alguns casos, suporte on-line para os clientes. Muitas empresas disponibilizam lojas virtuais em seus Web sites como um novo canal de distribuição de seus produtos e gerador de comodidade aos seus clientes, que passam a acessá-los, escolhem os produtos e os recebem em casa.
- **C2C (*Consumer to Consumer*)**. Esta modalidade visa à comercialização eletrônica de bens e serviços entre consumidores finais, envolvendo ou não terceiros. No caso do não envolvimento de terceiros, o C2C pode ser realizado através de Web sites pessoais, por exemplo. No caso de esse comércio ocorrer por intermédio de terceiros, que é o mais comum, a negociação é toda realizada diretamente entre os consumidores finais comprador e fornecedor, mas o Web site de intermediação (terceira parte) cobra uma taxa, ou comissão pela realização da mesma. Nesses casos, a responsabilidade dos Web sites que intermedeiam a transação se resume a localizar o consumidor comprador, sem se responsabilizar pela qualidade, condições e/ou entrega dos produtos transacionados. Outra forma importante desta modalidade é a propaganda eletrônica realizada por consumidores finais em Web sites de jornais eletrônicos para a compra ou venda de bens e serviços.

#### 11.4.2 E-government

O termo *e-government* vem do inglês “*eletronic government*” e abrange toda a troca e disponibilização eletrônica de informação e prestação de serviços aos cidadãos, empresas e outras instituições

<sup>9</sup> *Carrinho eletrônico de compra* – É uma funcionalidade dos Web sites de *e-commerce* que possibilita aos clientes realizarem a seleção de um ou mais produtos dos catálogos de produtos de um determinado Web site, colocando-os virtualmente em uma cesta de compras, para posterior verificação e processamento.

do próprio governo, com objetivo de, por exemplo, aumentar a eficiência interna, a troca e o acesso às informações públicas e a comunicação entre as diversas insituições do próprio governo, além de visar o aumento da conveniência aos cidadãos e acessabilidade dos serviços públicos.

As duas principais modalidades de *e-government* são G2C e G2B.

- **G2C (*Government to Citizen*)**. Esta modalidade visa aumento da conveniência e o estabelecimento da acessabilidade dos serviços públicos (governo) pelos cidadãos (consumidor) através de meios eletrônicos e de sistemas de informação automatizados. Como exemplos podem ser citadas operações realizadas via Internet, tais como consultas eletrônicas a cadastros do governo, como o de pessoa física (CPF) e o envio de declarações e de imposto de renda etc.
- **G2B (*Government to Business*)**. Esta modalidade visa aumento da conveniência e o estabelecimento da acessabilidade dos serviços públicos (governo) pelas empresas através de meios eletrônicos e de sistemas de informação automatizados. Como exemplos, podem ser citadas operações realizadas via Internet, tais como consultas eletrônicas a cadastros do governo, como o do cadastro nacional de pessoas jurídicas (CNPJ), impressão de guias de recolhimentos de impostos, como o do imposto municipal ISS (Impostos sobre Serviços), entre várias outras.

### 11.4.3 C-commerce

O termo *c-commerce* vem do inglês “*collaborative commerce*” e significa comércio colaborativo. Considerada como a próxima geração da modalidade de *e-commerce* B2B e a evolução dos processos da cadeia de suprimentos (*Supply Chain*), esta é a denominação dada à relação comercial estabelecida entre empresas que interagem através do uso de meios eletrônicos e de sistemas de informação automatizados, com o objetivo de integrar processos de negócios e gerenciar/compartilhar conhecimentos ao longo de suas cadeias de suprimento. Assim, o *c-commerce* é o conjunto de métodos pelos quais empresas interagem eletronicamente para realizar um conjunto dos seguintes propósitos: planejar, projetar, construir, comprar, produzir, vender, distribuir e oferecer suporte aos bens e serviços transacionados. A evolução dos sistemas ERP (*Enterprise Resource Plannig*) para os ERP II, descrita na Seção 11.1, é um exemplo de ferramenta que viabiliza a realização do *c-commerce*. As ferramentas ERP II são projetadas para criar uma ligação virtual para uma comunidade predefinida de parceiros de negócios, que passam a operar interligados, trocando informações, conhecimentos, comprando e vendendo bens e serviços através de tecnologia da Web.

### 11.5 REVISÃO DOS CONCEITOS

O motivo para inclusão deste assunto no livro de PCP é para que se possa constatar que as técnicas descritas neste capítulo estão disponíveis e são amplamente implementadas nas organizações.

Foram apresentados os conceitos de aplicação do Planejamento dos Recursos da Empresa (ERP), que é um sistema de computador que integra os programas de aplicação na contabilidade, vendas, manufatura e outras funções na empresa. Essa integração é conseguida através de um banco de dados compartilhado por todos os programas de aplicação.

Para selecionar um, dentre os muitos sistemas ERPs disponíveis, é preciso avaliar os pontos fortes e fracos de cada oferta, os requisitos necessários, além de objetivos a serem alcançados pela contratante com a implementação do mesmo, que são pontos analisados neste capítulo.”

A tecnologia do software de negócios está se movimentando num ritmo acelerado. Todos os dias, um novo software ou um novo pacote está sendo lançado.

Foram apresentados os conceitos e aplicações de *e-business*, *e-commerce*, *e-government* e *c-commerce*.

**PALAVRAS-CHAVE**

Sistema de informação empresarial  
ERP – Sistemas de gestão empresarial  
Softwarehouses  
E-business  
E-commerce  
E-government  
C-commerce

**11.6 EXERCÍCIOS**

1. Uma estratégia que muitas organizações estão considerando é receber o pedido de clientes pela Web. Coloque-se na posição de um gestor em uma indústria automobilística que esteja considerando essa abordagem a fim de receber os pedidos dos clientes para um determinado veículo automotivo. Quais informações você teria de obter do cliente? Quais informações você daria ao cliente a respeito do pedido? Como as informações seriam usadas dentro da indústria automotiva? Quais os principais problemas que teriam de ser solucionados antes da implementação do sistema? Se esse projeto tiver sucesso, isto é, se os clientes identificam que preferem fazer seus pedidos do veículo pela Internet em vez de negociar com uma concessionária, quais são as implicações de longo prazo para a indústria automotiva?
2. Realize uma pesquisa na Internet e identifique pelo menos três sistemas integrados de gestão empresarial. Caracterize cada um deles.
3. Um banco popular está considerando proporcionar serviços de banco por Internet. Quais são as principais questões que o banco tem de considerar em termos de conseguir clientes para usar esses serviços?

Para um maior aprofundamento no tema sistemas de informação, o leitor encontrará uma vasta bibliografia, incluindo publicações e recursos didáticos disponíveis na Internet. Em adição, recomenda-se a consulta das referências listadas ao final do livro, importantes para a compreensão do tema.

A página [www.abepro.org.br](http://www.abepro.org.br), da ABEPRO, Associação Brasileira de Engenharia de Produção, possui disponíveis os Anais do Enegep e do ICIEOM. Ambos são os principais encontros, respectivamente, nacional e internacional da Engenharia de Produção no Brasil. Consulte tais anais, procurando artigos publicados sobre os temas deste capítulo.

# Planejamento da capacidade

HELDER GOMES COSTA • ROGÉRIO ATEM DE CARVALHO • VICTOR GOMES SIMÃO •  
OSVALDO L.G. QUELHAS

## ■ OBJETIVOS DE APRENDIZADO

Neste capítulo serão abordados os conceitos básicos relativos ao planejamento baseado na previsão de demanda e da análise do ponto de equilíbrio. Adicionalmente serão abordadas regras de decisão aplicadas a esta modalidade de planejamento, incluindo decisão sob incerteza.

### 12.1 INTRODUÇÃO

O Capítulo 6 apresentou algumas estratégias para atender a flutuações de demanda, tais como: contratação e demissão, realização de horas extras e subcontratação (terceirização). Essas estratégias são adotadas para ajustar uma capacidade já existente à demanda do mercado. Em sistemas de produção, a seqüência de um processo deve ser projetada de forma a atender as demandas previstas para o seu ciclo de vida. Por um lado, a capacidade ociosa de uma planta induz custos fixos desnecessários, que acabam sendo rateados entre os produtos, encarecendo-os. Por outro lado, uma produção aquém da demanda favorece os concorrentes ou permite o surgimento de “novos entrantes” no mercado. Nesse contexto, a capacidade de um processo é um dos fatores críticos para o sucesso de uma organização. Ou seja: uma vez definidos os produtos a serem produzidos e suas quantidades, deve-se planejar a capacidade da planta de produção. O presente capítulo trata do planejamento da capacidade da planta, que serve, inclusive, para ajustes futuros da capacidade.

Pretende-se que, ao final do capítulo, o leitor tenha compreensão sobre os conceitos e definições adotados no âmbito do planejamento da capacidade; o planejamento da capacidade com base em previsões de demanda; o planejamento da capacidade com base na Análise do Ponto de Equilíbrio e a tomada de decisões sob situações de certeza, incerteza e risco.

### 12.2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

A *capacidade* de um processo é uma medida da quantidade que pode ser produzida, sendo expressa em razões. Por exemplo: 1000 ton/semana; 40.000 barris/dia; 20.000 litros/h; estudantes/sestremestre; hóspedes/dia. Essa medida não está necessariamente associada a uma taxa temporal. Pode-se adotar, por exemplo: número de vagas oferecidas em um vestibular; 40 alunos/sala de aula; número máximo de associados que um clube pode ter; número máximo de pessoas que podem ser atendidas em um bufê; número de leitos hospitalares; número de crianças que podem ser atendidas em um posto de saúde em um programa de vacinação contra paralisia infantil.

A *capacidade projetada* ou *capacidade de projeto* de uma planta industrial é a capacidade máxima sob condições ideais de operação. Nem sempre as organizações optam por operar a planta nesse limite ou nessa carga, por considerar que tal situação induz um ambiente de máxima tensão na organização: “a planta estaria operando no seu limite”, sem folga para absorver flutuações na

oferta de insumos ou a flutuações de demanda. Nesse contexto, surge o conceito de **utilização**. A utilização é a razão entre a capacidade esperada ou capacidade efetiva e a capacidade projetada, sendo calculada por:

$$\text{utilização} = \frac{\text{capacidade\_efetiva}}{\text{capacidade\_projetada}}$$

**Exemplo 12.1.** Uma planta de uma empresa da indústria automobilística foi projetada para produzir 200 automóveis por dia, quando no seu limite de carga. No entanto, a engenharia de produção e a gerência da empresa entendem que manter a produção nesse nível ou carga pode comprometer a qualidade exigida do seu conjunto de produtos. Assim, eles estimam que a capacidade máxima da produção, dentro dos níveis de qualidade exigidos, é de 190 automóveis por dia. Nesse caso, a *utilização* considerada pela engenharia de produção e pela gerência da fábrica é:

$$\text{utilização} = \frac{190}{200} = 0,95 = 95\%$$

Para este exemplo, a *utilização* é igual a 95% da *capacidade projetada*.

Um outro conceito relevante no âmbito da capacidade de um sistema de produção é a **eficiência** da planta. A eficiência medida é a razão entre a capacidade de fato disponibilizada (capacidade operacional) e a capacidade efetiva. Essa medida depende de como os processos que ocorrem no interior da planta são gerenciados e executados. Pode-se entender que a eficiência é uma relação entre saídas (resultados) e entradas (capacidade efetiva) no sistema de produção.

**Exemplo 12.2.** Considere uma plataforma de petróleo com capacidade efetiva de produção de 5.000 barris de petróleo por dia (BPD). Se essa planta estiver conseguindo operar com uma produção máxima diária de 4.000 barris de petróleo, a eficiência dessa plataforma é de 80%.

$$\text{Eficiência} = \frac{4.000}{5.000} = 0,80$$

A **capacidade operacional** é a capacidade com que, de fato, o administrador da planta pode contar para o seu planejamento. Ela é expressa como:

$$\text{Capacidade\_operacional} = \text{Capacidade\_projetada} \times \text{Utilização} \times \text{Eficiência}$$

**Exemplo 12.3.** Uma unidade de uma tradicional rede *fast food* de restaurantes de massa italiana está projetando uma linha de produção que deve atender a 18 pedidos por hora e funcionar 10 horas por dia, nos 7 dias da semana. A utilização estimada pela gerência de produção é de 90%, ao passo que a eficiência mensurada é de 80%. A **capacidade operacional** desse restaurante é de 1.260 atendimentos por semana ou 180 atendimentos por dia, visto que ele deve atender à demanda prevista:

$$\begin{aligned} \text{Capacidade\_operacional} &= 18 \frac{\text{pedidos}}{\text{hora}} \times 10 \text{ horas} \times 7 \text{ dias} \\ &= 1.260 \text{ refeições/semana.} \end{aligned}$$

Ou

$$\text{Capacidade operacional} = 1.260 \text{ refeições/semana} = 180 \text{ refeições/dia,}$$

A *capacidade projetada* para esse restaurante deve ser de:

$$\text{Capacidade\_projetada} = \frac{1.260}{0,8 \times 0,9} = 1.750 \text{ refeições/semana}$$

Ou

$$Capacidade\_projetada = \frac{180}{0,8 \times 0,9} = 250 \text{ refeições/semana}$$

**Dica:** Use a planilha do Exemplo 12.3 (Planilha CP.xls) para simular e analisar diferentes situações para este problema, variando os parâmetros do mesmo.

Conforme descrito no início deste capítulo, existem diferentes formas de projetar a capacidade de uma planta de produção. A seguir apresentam-se algumas abordagens neste contexto.

### 12.3 PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE COM BASE EM PREVISÕES DE DEMANDA

Uma das formas usuais para se planejar capacidade é utilizar mecanismos de previsão de demanda, como os descritos no Capítulo 4. Neste caso, efetuam-se os seguintes passos:

1. calcula-se a *previsão de demanda*;
2. assume-se a *capacidade operacional* como sendo a demanda prevista no passo anterior;
3. estima-se a *eficiência* e a *utilização* da planta;
4. calcula-se a *capacidade projetada*, através da seguinte expressão:

$$Capacidade\_projetada = \frac{capacidade\_operacional}{utilização \times eficiência} = \frac{demanda\_prevista}{utilização \times eficiência}$$

**Exemplo 12.4.** Considere o planejamento da capacidade de uma planta de produção em que a previsão de demanda é baseada na série temporal ilustrada na Tabela 12.1. Estima-se que a eficiência da planta e a taxa de utilização sejam, respectivamente, 0,95 e 0,80.

**Tabela 12.1.** Série Temporal do produto A

PERÍODO (MÊS)	DEMANDA DO PRODUTO A
1	1800
2	2000
3	1900
4	2000
5	1800
6	1900
7	1900
8	1800
9	2000
10	1800
11	2000
12	1900

Para essas condições, adotando-se para o cálculo da previsão o modelo da média móvel dos últimos três meses, a previsão da demanda para a planta é de 1.900 unidades. Assumindo esse valor como a capacidade operacional desejada, tem-se:

$$Capacidade\_projetada = \frac{capacidade\_operacional}{utilização \times eficiência} = \frac{1900}{0,90 \times 0,80} = 2.638,89/mês$$

Ou seja: deve-se projetar a planta para uma capacidade mensal de pelo menos 2.639 unidades do produto (considerando-se que a unidade do produto é indivisível).

Algumas reflexões sobre essa abordagem são feitas a seguir.

1. A média móvel foi adotada no exemplo apenas a título de ilustração. Vale lembrar que, conforme descrito no Capítulo 4, a previsão é uma expectativa de demanda e deve ser adotada como diretriz. Mais ainda, dependendo do modelo de previsão adotado, diferentes previsões podem ser obtidas. Por exemplo: ao se adotar o maior valor ocorrido na série como sendo a previsão de demanda:

$$\text{Capacidade}_{\text{projetada}} = \frac{2000}{0,90 \times 0,80} = 2777,78$$

Ou seja: usando esse parâmetro (maior amplitude da série) deve-se projetar uma planta para uma capacidade de pelo menos 2.780 unidades do produto (considerando-se que a unidade do produto é indivisível).

Recomenda-se então uma análise de sensibilidade para a definição da previsão de demanda.

2. Em geral, após a “partida” (início de operação) da planta, ocorre um processo de aprendizado em que há um aumento de eficiência da planta. Esse processo é denominado curva de aprendizado e influencia na capacidade operacional da planta.

**Dica:** Use a planilha do Exemplo 12.4 (Planilha CP.xls) para simular e analisar diferentes situações para este problema, variando os parâmetros do mesmo.

## 12.4 PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE COM BASE NA ANÁLISE DO PONTO DE EQUILÍBRIO

Na Análise do Ponto de Equilíbrio (*Break even analysis*), calcula-se o nível de produção a partir do qual a planta começa a dar lucro, ou seja, o ponto a partir do qual a receita supera os custos (de produção e fixos).

O faturamento ou **receita** está associado ao preço de venda e à quantidade de produtos vendida, conforme ilustrado na seguinte expressão matemática.

$$R = Q_v \times p$$

Onde:

$Q_v$  = quantidade vendida

$p$  = preço de venda

$R$  = receita

Vale observar que: se não há venda, não há faturamento (ou o faturamento é igual a zero).

O custo total é composto por custos fixos e custos variáveis:

$$CT = (C_f + C_v)$$

Onde:

$CT$  = Custo total

$C_f$  = Custo fixo

$C_v$  = custo variável

São classificados como **custos fixos** os custos de instalação de uma planta e sua manutenção em situação em que a produção está parada (situação em que zero itens são produzidos, produção nula). Como exemplos desses custos citam-se aqui: custos com o projeto da planta; custos com a vigilância patrimonial; e custos de depreciação.



São classificados como **custos variáveis** os custos adicionais gerados pela produção de itens na planta. Ou seja: esses custos variam de acordo com a quantidade produzida, conforme ilustrado na expressão matemática a seguir.

$$Cv = (Q_p \times C_{\text{marginal}})$$

Onde:

$Q_p$  = quantidade produzida

$C_{\text{marginal}}$  = custo marginal (custo para se fabricar uma unidade do produto)

$Cv$  = Custos variáveis

Observa-se que: se não há produção, não há incidência de custos variáveis (ou o faturamento é igual a zero). Como exemplos de custos variáveis citam-se os relacionados a matéria-prima, mão-de-obra fluante e consumo de energia.

O **ponto de equilíbrio** pode ser achado pelas formas analítica e gráfica. Analiticamente, no ponto de equilíbrio, a receita se iguala ao custo total, daí:

$$R = CT$$

Então:

$$R = CT = C_f + C_v$$

Logo:

$$q^* \times p = C_f + q^* \times C_{\text{marginal}}$$

Ou:

$$q^* \times (p - C_{\text{marginal}}) = C_f$$

Finalmente,

$$q^* = \frac{C_f}{(p - C_{\text{marginal}})} = \frac{\text{CustoFixo}}{(\text{preço} - \text{CustoMarginal})}$$

Onde  $q^*$  é o **ponto de equilíbrio** (ou seja: a quantidade de produtos que deve ser produzida e vendida para que a receita se iguale ao custo)

**Exemplo 12.5.** Considere um restaurante que tenha um custo fixo mensal a ser desembolsado no início de cada mês de R\$20.000,00 (e não tenha outros custos fixos). Considere também que cada refeição tem um custo unitário médio de R\$5,00 e que esse valor seja constante e independa da quantidade produzida, para a faixa de produção considerada. O preço médio estimado para a venda de cada refeição tenha o valor de R\$7,00. A Figura 12.1 apresenta as curvas de receita, custo fixo e custo total desse negócio.

Quantos produtos dessa planta precisam ser produzidos e vendidos por mês para que esta não opere na região de prejuízo?

Analisando a Figura 12.1, observamos que o “ponto de equilíbrio” é de 10.000 unidades. Ou seja, a planta tem de produzir e vender pelo menos 10.000 para não operar “no vermelho”.

O ponto de equilíbrio também pode ser encontrado analiticamente através da seguinte expressão:

$$q^* = \frac{C_f}{(p - C_{\text{marginal}})}$$

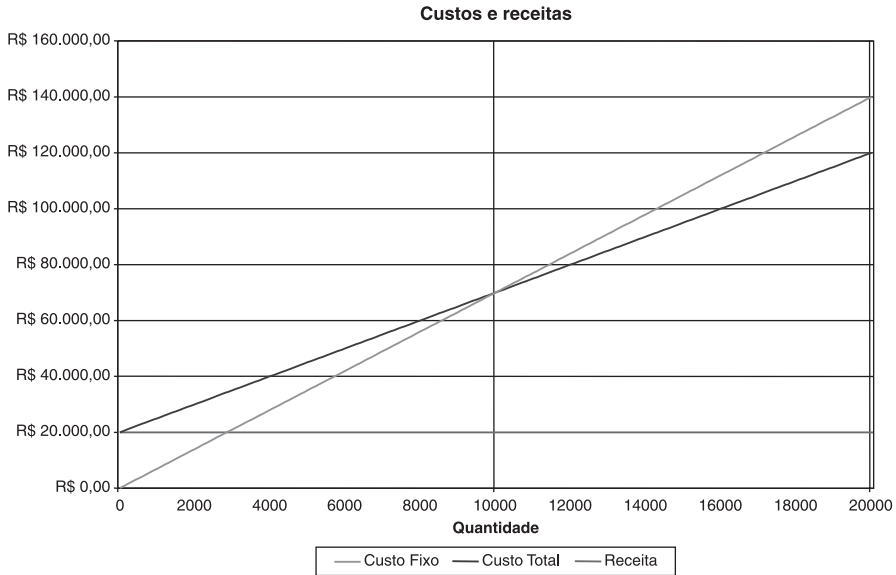


Figura 12.1. Curvas de receita, custo fixo e custo total para o Exemplo 12.5.

Para os dados do problema:

$$q^* = \frac{20.000,00}{(7,00 - 5,00)} = 10.000$$

Ou seja: o ponto de equilíbrio ( $q^*$ ) é 10.000 unidades.

Para facilitar a fixação dos conceitos aqui discutidos apresentam-se a seguir as Figuras 12.2 e 12.3. Nessas figuras, é possível identificar o ponto de equilíbrio, as funções custo total e receita, as

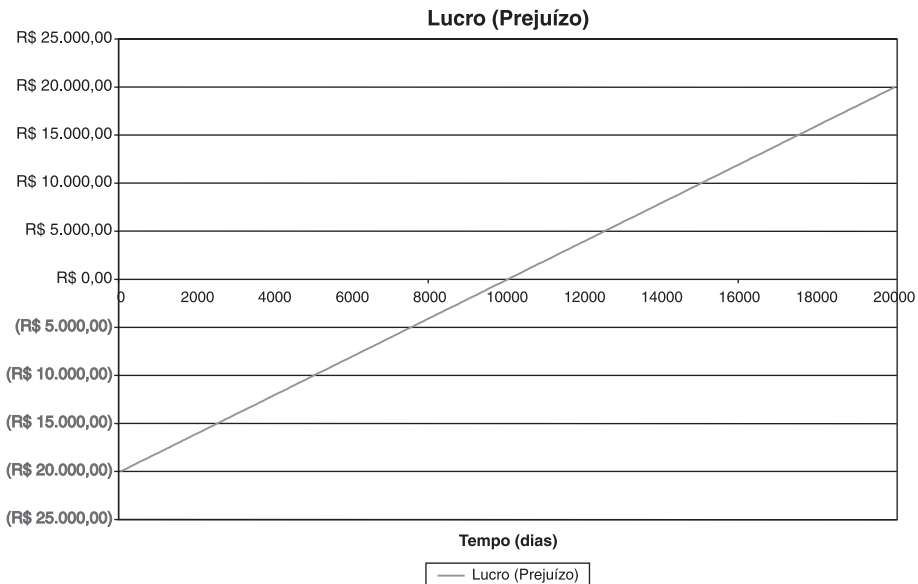
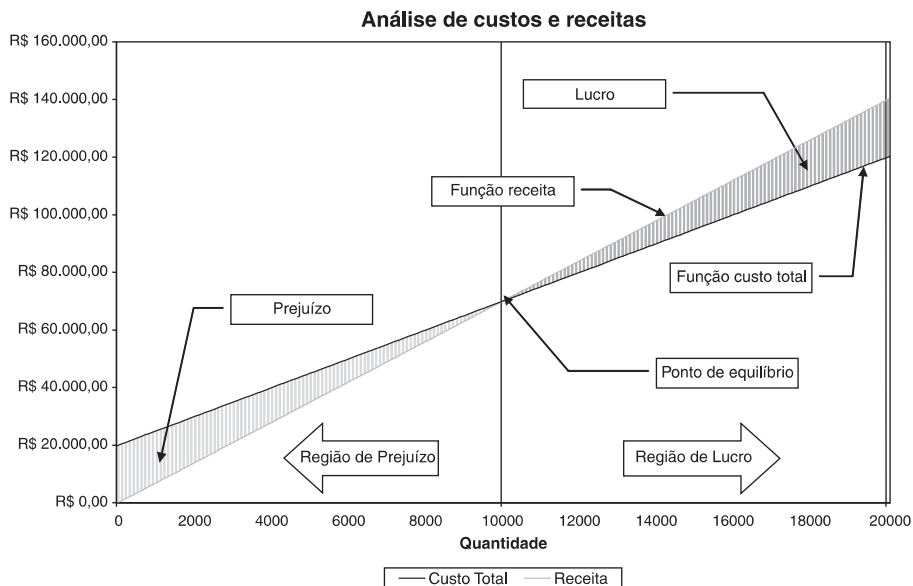


Figura 12.2. Tempo x Lucro para o Exemplo 12.5.



**Figura 12.3.** Curvas de receita, custo fixo e custo total para o Exemplo 12.5

relações entre essas funções e as regiões onde ocorrem lucro e prejuízo. A visualização desta figura facilita a análise do problema do planejamento da capacidade.

**Dica:** Use a planilha do Exemplo 12.5 (arquivo Pc.xls) para simular e analisar diferentes situações para este problema, variando os parâmetros do mesmo.

#### 12.4.1 Considerações sobre o planejamento da capacidade com base na análise do ponto de equilíbrio

Nesta seção apresentam-se algumas considerações adicionais sobre o planejamento da capacidade com base na análise do ponto de equilíbrio.<sup>1</sup> Por exemplo, pode-se querer analisar quanto tempo o investimento leva para atingir o ponto de equilíbrio, ou seja, a partir de quanto tempo o negócio passa a ser lucrativo?

Para responder a esse tipo de questão, as equações de cálculo do ponto de equilíbrio devem ser consideradas de um ponto de vista cumulativo, em que se considere o efeito temporal. Dessa forma:

$$CT(t) = C_{instalação} + C_{fixo}(t) + C_v(t) + \sum_{i=1}^{t-1} [C_v(i) + C_{fixo}(i)]$$

ou

$$CT(t) = C_{instalação} + q(t) \times C_{unit}(t) + \sum_{i=1}^{t-1} [q(i) \times C_{unit}(i)] + C_{fixo}(t) + \sum_{i=1}^{t-1} [C_{fixo}(i)]$$

ou

$$CT(t) = C_{instalação} + \sum_{i=1}^t [q(i) \times C_{unit}(i)] + \sum_{i=1}^t [C_{fixo}(i)]$$

<sup>1</sup> Apesar de esta análise não ser usualmente encontrada nos textos de PCP, ela pode auxiliar significativamente na compreensão deste assunto.

Onde:

- $t$  é o intervalo de período de tempo considerado.
- $CT(t)$  é o custo total acumulado até o período  $t$  (inclusive).
- $C_{instalação}$  é o custo para instalação ou partida da planta.
- $Cv(t)$  é o custo variável no período  $t$ .
- $C_{unit}(t)$  é o custo unitário no período  $t$ . Para tornar o modelo bem abrangente, assume-se a possibilidade de que esse custo pode ser variável com o tempo.
- $C_{fixo}(t)$  é o custo fixo **acumulado**. Ou seja: o custo acumulado devido à incidência de custos fixos até período  $t$ , ou a soma de todos os custos fixos que incidirão sobre a planta até o período  $t$ . Por exemplo: um aluguel, apesar de ter um valor fixo mensal, tem o seu valor acumulado variando mensalmente.
- $q(t)$  = quantidade produzida no período  $t$ .

Observe ainda que

$$R(t) = p(t) \times q(t) + \sum_{i=1}^{t-1} R(i) = p(t) \times q(t) + \sum_{i=1}^{t-1} [p(i) \times q(i)]$$

ou

$$R(t) = \sum_{i=1}^t [p(i) \times q(i)]$$

Onde:

- $t$  é o intervalo de período de tempo considerado.
- $R(t)$  é a receita acumulada com a venda dos produtos até o período  $t$  (inclusive).
- $Q(t)$  = quantidade vendida no período  $t$  (inclusive).

Dessa forma, no ponto de equilíbrio, tem-se:

$$\begin{cases} R(t) = \sum_{i=t}^t [p(i) \times q(i)] \\ CT(t) = C_{instalação} + \sum_{i=t}^t [q(i) \times C_{unit}(i)] + \sum_{i=t}^t [C_{fixo}(i)] \\ R(t) = CT(t) \end{cases}$$

Esse ponto de equilíbrio pode ser encontrado graficamente ou através de métodos iterativos – em alguns casos, também pode ser encontrado analiticamente. A seguir apresentam-se alguns exemplos de aplicação dessa modelagem.

**Situação com custo de instalação (demais custos fixos desprezíveis)**

Seja uma situação em que o investidor tenha um alto investimento inicial para instalar a planta e, posteriormente, os custos fixos sejam relativamente tão pequenos que possam ser desprezados. Nessa situação, como se aplica a análise do ponto de equilíbrio?

Nesse caso, há um único momento em que ocorre um custo fixo (na instalação). Posteriormente à instalação, considera-se que só ocorrem custos relativos a produção. Ou seja, para este caso:

$$\begin{cases} CT(t) = C_{instalação} + \sum_{i=t}^t [q(i) \times C_{unit}(i)] \\ R(t) = \sum_{i=t}^t [p(i) \times q(i)] \end{cases}$$

**Exemplo 12.6.** Considere que o restaurante do Exemplo 12.3 tenha um custo de instalação de R\$80.000,00 (e não tenha outros custos fixos). Considere também que cada refeição terá um custo médio de R\$5,00 e que esse valor é constante e independa da quantidade produzida, para a faixa de produção considerada. O preço estimado para a venda de cada refeição é também homogêneo e tem o valor de R\$7,00. Considere a hipótese de que o restaurante operará com uma taxa de demanda igual à sua capacidade operacional (180 refeições/dia).

Para este problema:

- $C_{\text{instalação}} = \text{R\$ } 80.000,00$
- $p = \text{R\$ } 7,00$ , constante ao longo do tempo.
- $C_{\text{unit}} = \text{R\$ } 5,00$ , constante ao longo do tempo.
- $C_{\text{fixo}} = 0$ , constante ao longo do tempo.

Daí, no ponto de equilíbrio, tem-se:

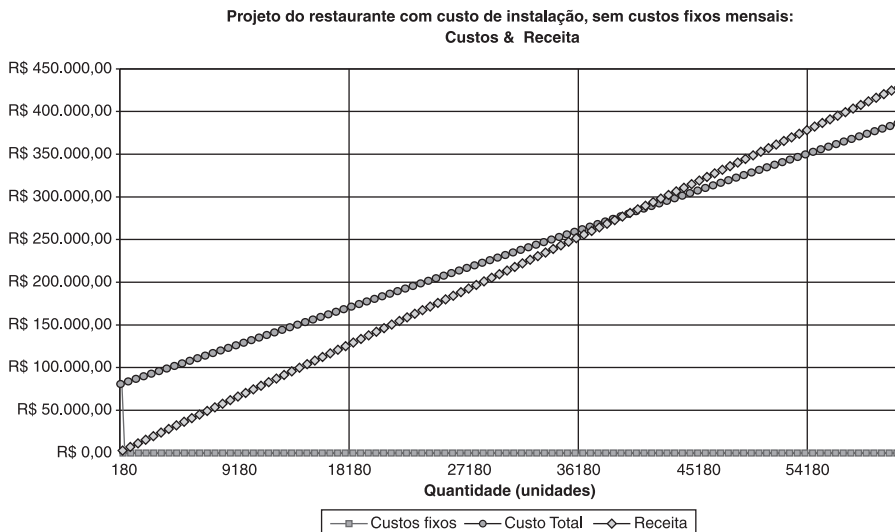
$$\left\{ \begin{array}{l} CT(t) = C_{\text{instalação}} + \sum_{i=1}^t [q(i) \times C_{\text{unit}}(i)] = 80.000 + Q^* \times 5,00 \\ R(t) = \sum_{i=1}^t [p(i) \times q(i)] = 7,00 \times Q^* \\ R(t) = CT(t) \end{array} \right.$$

$$7 \times Q^* = 80.000 + 5 \times Q^*$$

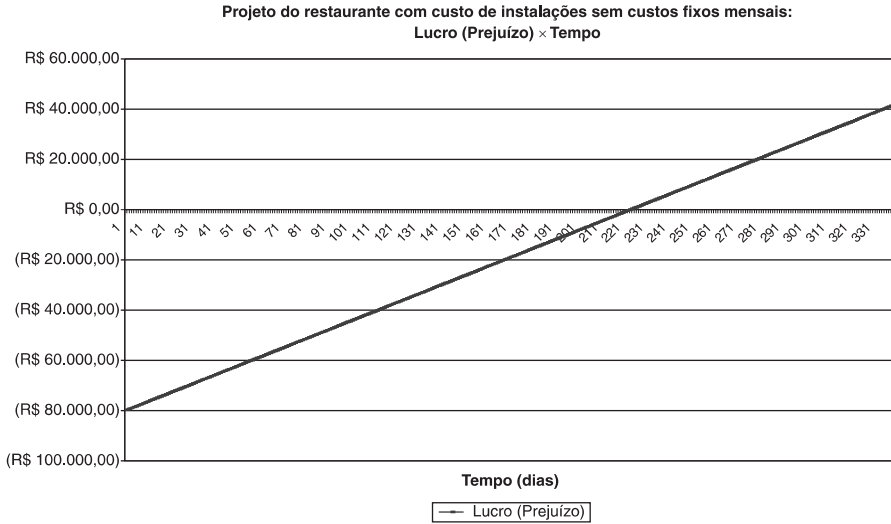
ou

$$Q^* = 40.000$$

O ponto de equilíbrio ocorre em  $Q^* = 40.000$  refeições. Ou seja, o restaurante tem de produzir e vender pelo menos 40.000 refeições para “sair do vermelho” e passa a ser lucrativo a partir de 40.001 refeições vendidas. A Figura 12.4 apresenta o comportamento das funções custo fixo, custo total e receita para esse problema.



**Figura 12.4.** Curvas de receita, custo fixo e custo total para o projeto do restaurante.



**Figura 12.5.** Tempo x Lucro para o projeto do restaurante.

**Questão:** Quanto tempo levará para que o investimento no restaurante passe a ser lucrativo?

O tempo para que o restaurante passe a ter equilíbrio depende da demanda.

$$t^* = \frac{q^*}{d}$$

Onde:

$t^*$  = tempo necessário para se atingir o ponto de equilíbrio.

$q^*$  = quantidade no ponto de equilíbrio.

$d$  = demanda média<sup>2</sup>

Com base na resposta à questão, para ser lucrativo o restaurante terá de produzir 40.001 refeições. Assim, a questão se transforma em quantos dias serão necessários para o restaurante produzir e vender 40.001 refeições.

$$t^* = \frac{40.001}{180} = 222,2$$

Ou seja: estima-se que a partir do 223º dia (inclusive) o restaurante passará a ser lucrativo. As Figuras 12.5 e 12.6 ilustram o ponto de equilíbrio em função do tempo.

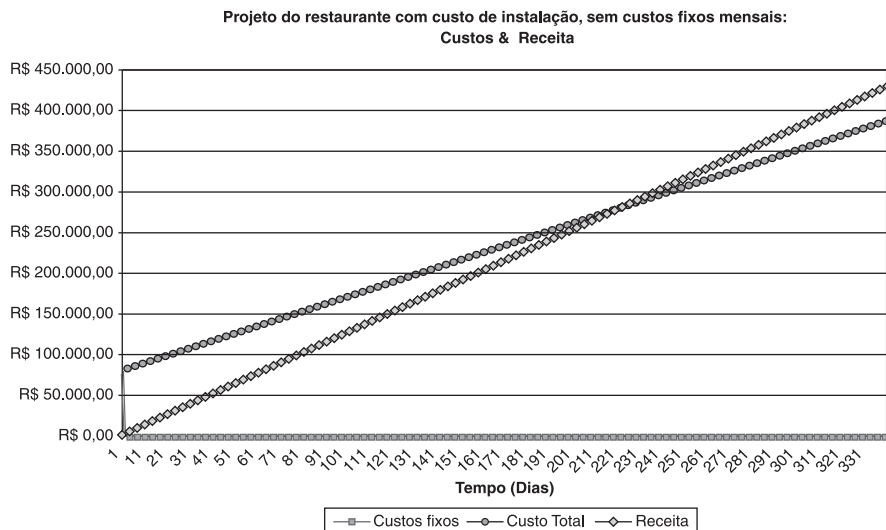
**Dica:** Use a planilha do Exemplo 12.6 (arquivo Pc.xls) para simular e analisar diferentes situações para este problema, variando os parâmetros do mesmo.

#### Situação com demanda não-constante

A modelagem até aqui apresentada assumiu uma importante hipótese: a demanda foi considerada constante (igual à capacidade de operação) ao longo do intervalo de tempo considerado.

Em geral, isto não ocorre, pois, principalmente em novas instalações ocorre um período em que a demanda apresenta um comportamento transiente (uma espécie de “tempo de aquecimento da planta”, usualmente denotado por *tempo de setup*) até que planta atinja o regime de operação para a qual foi planejada. Por exemplo: no caso do restaurante considerado nos exemplos anteriores deste

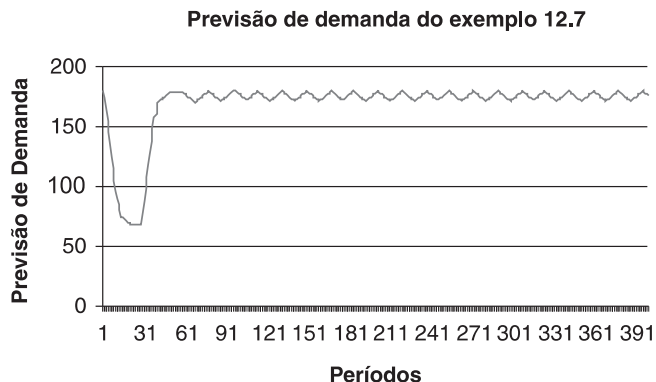
<sup>2</sup> Este modelo assume uma taxa de demanda constante.



**Figura 12.6.** Tempo x Lucro para o projeto do restaurante.

capítulo, é necessário que a informação de que o mesmo foi inaugurado e encontra-se em operação chegue ao conhecimento, de fato, dos seus consumidores potenciais.

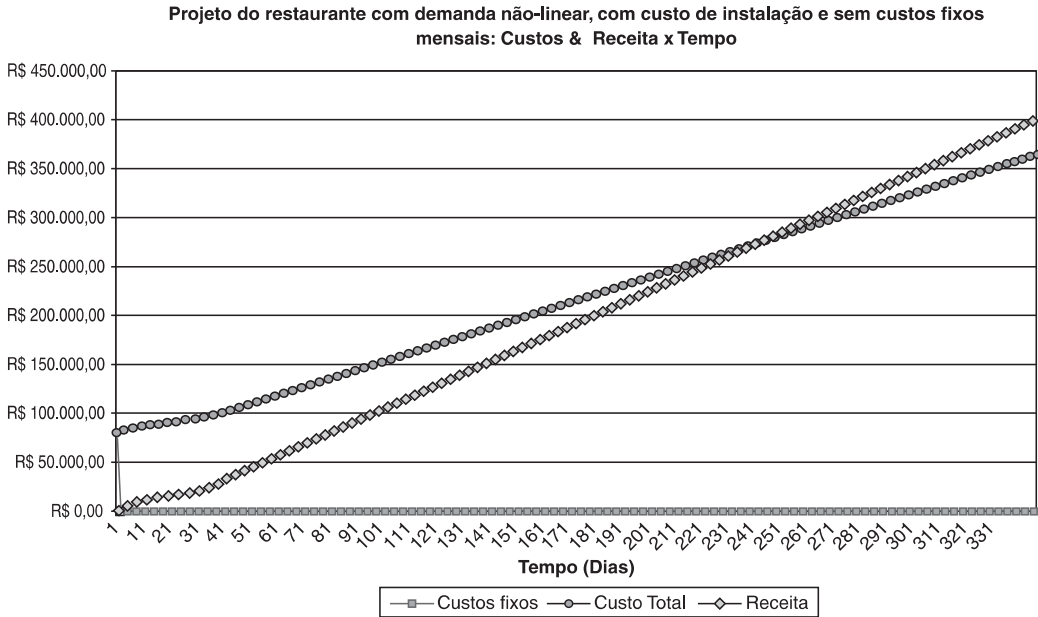
**Exemplo 12.7.** Com o objetivo de exercitar esta discussão, apresenta-se na figura a seguir o comportamento da demanda esperada para o restaurante do Exemplo 12.4. A tabela completa pode ser encontrada ao final deste capítulo. Qual seria o tempo previsto para que o investimento passasse a ser lucrativo?



Para este problema, a quantidade do ponto de equilíbrio não muda ( $Q^* = 40.000$  unidades). Ou seja: na modelagem adotada, o ponto de equilíbrio (quantidades vendidas) independe da demanda, pois assumiram-se as hipóteses de que os custos fixos, o custo unitário e o preço de venda independem da demanda pelo produto.

A questão é detectar em que momento esse ponto é atingido. Neste caso, o problema deve ser resolvido graficamente ou através de um método iterativo que identifique o ponto de convergência.<sup>3</sup> A Figura 12.7 apresenta as curvas de receita, custo fixo e custo total do negócio nessa nova situação.

<sup>3</sup> Ver, por exemplo, a planilha Exemplo 12.7 do arquivo pc.xls que acompanha o livro.

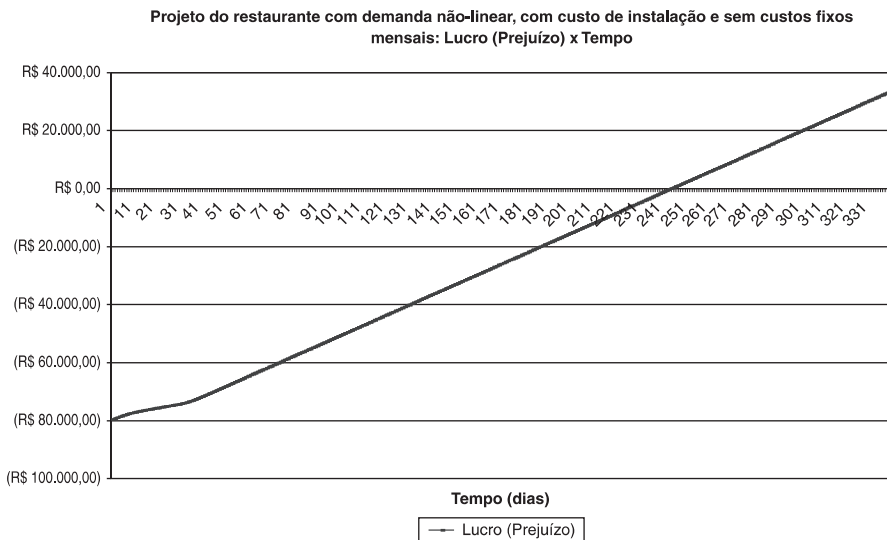


**Figura 12.7.** Curvas de receita, custo fixo e custo total para o Exemplo 12.7.

O ponto de equilíbrio deve ser atingido entre os dias 244 e 245 (ver planilha eletrônica pc.xls que acompanha o presente texto). Ou seja: a partir do 245º dia, o sistema começará a apresentar lucro.

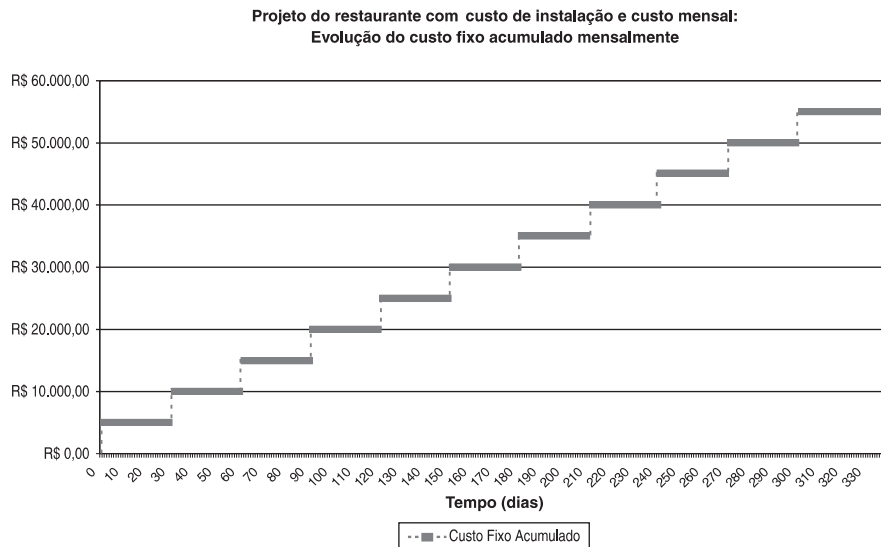
A Figura 12.8 apresenta o comportamento temporal do lucro (prejuízo) ao longo do tempo.

**Dica:** Use a planilha do Exemplo 12.7 (arquivo Pc.xls) para simular e analisar diferentes situações para este problema, variando os parâmetros do mesmo.



**Figura 12.8.** Lucro x Tempo para o Exemplo 12.7.





**Figura 12.9.** Custo fixo x Tempo para o Exemplo 12.8.

Situação com custos independentes da quantidade, porém variando com o tempo

No Exemplo 12.6, considerou-se que com a instalação e “partida da planta”, foram desprezados os custos que independem da quantidade produzida. Porém podem existir custos que, mesmo dependendo da quantidade produzida, variem com o tempo. Por exemplo, despesas com aluguéis, impostos, pagamentos mensais de franquias ou direitos de propriedade etc. A seguir apresenta-se um exemplo em que essa questão é explorada.

**Exemplo 12.8.** Considere que o restaurante do Exemplo 12.3 tenha um custo de instalação de R\$20.000,00 e tenha um custo fixo mensal de R\$6.000,00. Considere também que cada refeição terá um custo médio de R\$5,00 e que esse valor é constante e independa da quantidade produzida, para a faixa de produção considerada. O preço estimado para a venda de cada refeição é também homogêneo e tem o valor de R\$7,00. O gráfico 12.8 apresenta as curvas de variação dos custos fixos acumulados. Observe que a função custo fixo acumulado apresenta o comportamento de uma função “degrau”.

Já a Figura 12.10 apresenta as curvas dos custos acumulados e das receitas em função do tempo.

Observe nas Figuras 12.11 e 12.12 que não há um ponto de equilíbrio, mas sim uma região na qual ocorre uma alternância entre lucro e prejuízo. Essa região ocorre entre os dias 206 e 207. Isso indica que apenas após o 247<sup>o</sup> dia a organização passará a operar com lucro.

**Dica:** Use a planilha do Exemplo 12.8 (arquivo Pc.xls) para simular e analisar diferentes situações para este problema, variando os parâmetros do mesmo.

Outras variações do modelo de ponto de equilíbrio podem ser desenvolvidas e aprofundadas. No entanto, é importante abordar outras técnicas adotadas no planejamento da capacidade, como as descritas a seguir.

## 12.5 REGRAS DE DECISÃO APLICADAS AO PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE

Esta seção introduz alguns algoritmos utilizados para tomada de decisão em termos gerais e posteriormente os contextualiza dentro do planejamento da capacidade, enfocando em regras de deci-

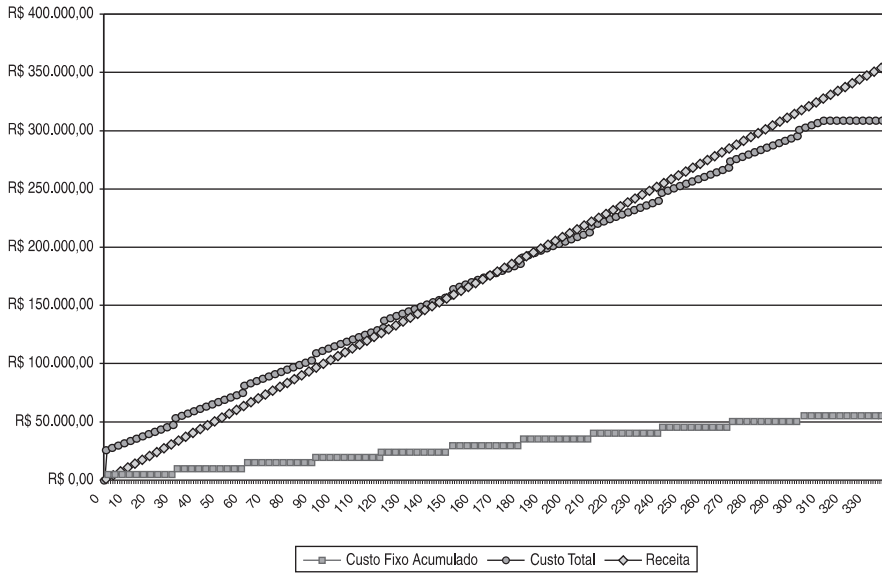


Figura 12.10. Curvas dos custos acumulados e das receitas em função do tempo.

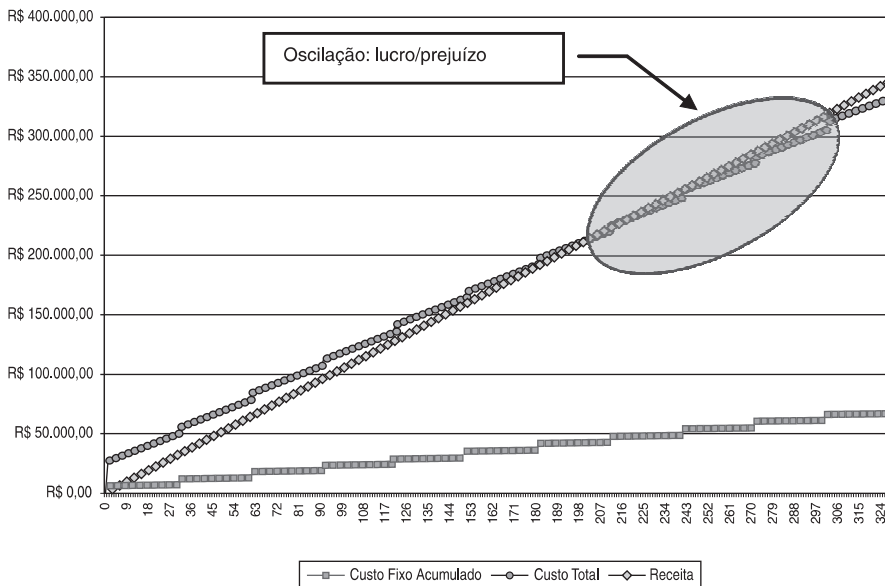
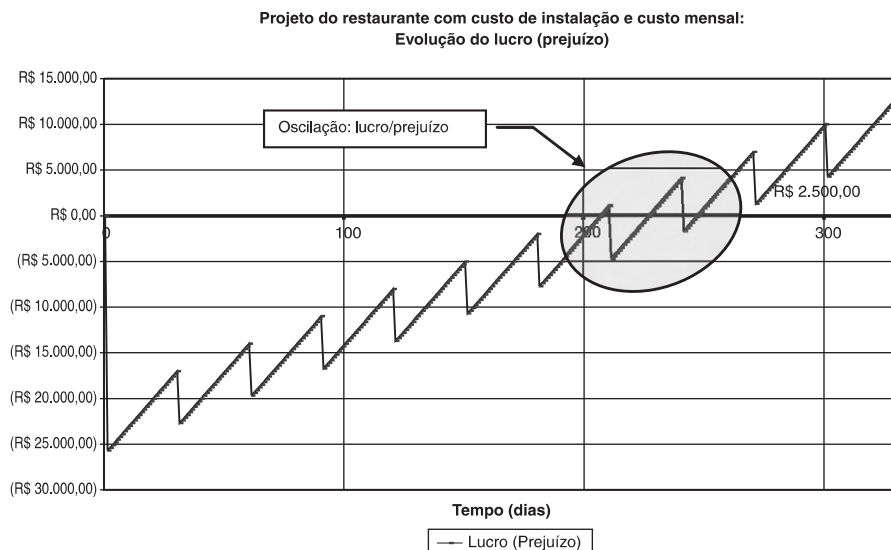


Figura 12.11. Região de oscilação entre lucro e prejuízo.

são aplicadas às decisões monocritério em ambientes de incerteza e de risco. O Apêndice 1, disponível; *on-line*, apresente um complemento sobre as abordagens Multicritério e Multidecisor.

Visto que a decisão é de responsabilidade do gestor, os métodos de apoio à decisão devem ser parte do instrumental de conhecimento destes. Nesta seção apresentam-se alguns algoritmos ou regras utilizadas para tomada de decisão no ambiente cooperativo organizacional. Mais especificamente, enfocam-se algumas das regras de decisão aplicadas às decisões monocritério em ambientes de incerteza e de risco.



**Figura 12.12.** Região de oscilação entre lucro e prejuízo.

### 12.5.1 Elementos do processo decisório

Neste tópico e no seguinte serão vistos alguns conceitos básicos da Teoria de Decisão, de maneira a introduzir o assunto e, posteriormente, aplicá-lo no planejamento da capacidade.

**Decisor:** unidade responsável pela tomada de decisão. Pode ser composta por um indivíduo ou por um grupo de indivíduos.

**Analista:** elemento consultivo que tem a função de estruturar e analisar o problema, apresentando orientações e argumentos que auxiliem o decisor na sua tomada de decisão.

**Alternativa:** estratégia ou curso de ação viável que pode ser adotado pelo decisor.

**Critério:** Propriedade ou variável à luz da qual a alternativa é avaliada.

**Atributo:** Valor do desempenho da alternativa à luz do critério.

**Cenário:** “estado da natureza” projetado para o futuro. Por exemplo:

- estimativa da taxa de câmbio para o próximo ano;
- estimativa da incidência de chuvas para a próxima safra;
- demanda estimada para o próximo período.

Em geral, os cenários são classificados em otimista, pessimista ou moderado; podendo ser associadas probabilidades de ocorrência aos mesmos.

**Tabela de pagamentos:** tabela com os valores a serem retornados pelas alternativas.

### 12.5.2 Situação de decisão

Uma situação ou problema de decisão caracteriza-se por uma necessidade de avaliação de um conjunto de alternativas, para que se realize uma escolha ou decisão. Segundo Zeleny (1982), uma decisão ocorre mesmo quando o decisor decide por “não decidir”. Existem diferentes formas de classificar as situações de decisão. A seguir são apresentadas algumas formas de classificar as situações de decisão.

**Classificação quanto ao conhecimento dos desdobramentos futuros (cenários)**

As situações de decisão podem ser classificadas de acordo com o conhecimento das possibilidades de ocorrência de cenários. Nesse caso as decisões podem ser classificadas em uma das seguintes categorias:

**Decisão sob certeza:** quando se conhecem “com certeza” os resultados futuros oriundos da decisão. Por exemplo: um decisor pode “ter certeza” de que se ele realizar um depósito de \$100,00 em sua conta bancária, esta terá o seu saldo aumentado em \$100,00.

**Decisão sob incerteza:** quando o decisor desconhece a probabilidade de ocorrência dos cenários e, por conseguinte, não pode avaliar o risco da decisão adotada.

Por exemplo: o proprietário de uma pousada em Búzios, que não consegue estimar a probabilidade de “chover muito” durante o próximo verão.

**Decisão sob risco:** quando o decisor consegue estimar a probabilidade de ocorrência dos cenários e, por conseguinte, pode avaliar o risco associado à decisão adotada.

Por exemplo: o proprietário de uma pousada em Búzios, não tem plena convicção de que no próximo verão irá “chover muito” em Búzios; no entanto, ele pode conseguir associar uma estimativa de probabilidade de 60% à ocorrência desse cenário.

#### Classificação quanto ao tipo de decisão

Outra forma de se classificar a situação de decisão considera o tipo de problema e os objetivos da decisão. Nesse caso, a decisão pode ser classificada em uma das seguintes categorias:

**Escolha:** Escolher uma dentre um conjunto de alternativas viáveis.

**Classificação:** Classificar um conjunto de alternativas em subconjuntos. Por exemplo:

- animais podem ser classificados como pertencentes à classe dos mamíferos, dos vertebrados, dos invertebrados;
- máquinas podem ser classificadas como próprias ou alugadas;
- mão-de-obra pode ser do quadro da organização ou terceirizada;
- itens do estoques podem ser classificados como itens acabados ou produtos em processo.

**Ordenação:** Dados os elementos de um conjunto de alternativas, busca-se ordená-las segundo algum critério. Por exemplo: ordenar os itens em estoques segundo o seu valor monetário.

**Classificação ordenada:** Classificar um conjunto de alternativas em subconjuntos ordenados, ou em classes de referência ordenadas. Um exemplo tradicional desse tipo de classificação é a classificação ABC de Pareto.

**Distribuição ou participação:** Dados os elementos de um conjunto de alternativas, estabelecer uma distribuição ou fazer uma segmentação entre as participações das alternativas. Por exemplo: dado um conjunto de itens em estoque, definir o percentual de contribuição de cada item às despesas com manutenção dos estoques.

### 12.5.3 Regras para decisão sob incerteza

Na decisão sob incerteza considera-se que o decisor desconhece as probabilidades associadas a cada um dos cenários. Vejamos o Exemplo 12.9 para a apresentação os algoritmos para decisão sob incerteza.

**Exemplo 12.9.** Considere um grupo proprietário de uma planta de produção de calçados que está avaliando a possibilidade de estabelecer negócios com uma rede asiática que também atua nesse setor. Esse decisor<sup>4</sup> considera a existência de três alternativas.

---

<sup>4</sup> Conforme decidido na seção “elementos do processo decisório”, o decisor é uma pessoa ou um grupo de pessoas responsável pela tomada de decisão.

- Alternativa I: reduzir a sua capacidade de produção, passando a importar calçados produzidos na Ásia para revendê-los no Brasil.
- Alternativa II: investir na construção de uma nova planta no Brasil, visando à exportação de seus produtos para o mercado asiático.
- Alternativa III: Permanecer na situação atual, não realizando nenhum negócio com o grupo asiático e mantendo a sua forma de atuação atual.

O decisor considera que a taxa de câmbio interfere diretamente no negócio. Assim, existem três cenários para o comportamento da taxa de câmbio.

- A moeda nacional é desvalorizada em 10%, com relação à moeda asiática (DMN).
- Manutenção da atual taxa de câmbio (EMN).
- A moeda nacional é desvalorizada em 10%, com relação à moeda de referência global (DMN).

A partir dessa situação e considerando as expectativas de demanda, o decisor construiu a Tabela 12.2 ilustrada a seguir, usada como referência para a apresentação das regras de decisão maximin e minimax.

**Tabela 12.2.** Pagamentos para o Exemplo 12.9.

ALTERNATIVAS	CENÁRIOS		
	VMN	EMN	DMN
I	R\$25.000,00	R\$15.000,00	(R\$5.000,00)
II	(R\$25.000,00)	R\$13.000,00	R\$40.000,00
III	R\$10.000,00	R\$10.000,00	R\$10.000,00

### Regra maximax

Segundo esta regra de decisão (ou critério, de acordo com alguns autores), o decisor opta pela alternativa que lhe dá maior retorno na Tabela de Pagamentos. Assim, para o Exemplo 12.9, um decisor que optasse por seguir esta regra escolheria a Alternativa I (**reduzir a sua capacidade de produção**). Isso se deve ao fato de essa alternativa ser a que apresenta maior expectativa<sup>5</sup> de retorno: R\$40.000,00, caso ocorra o cenário.

Considera-se que um decisor que adota esta regra tem um perfil mais propenso a correr riscos, sendo denominado um decisor com perfil **otimista**.

### Regra maximin

Segundo esta regra de decisão, o decisor considera que qualquer que seja a sua decisão sempre acontecerá o pior cenário possível para ela (decisor com perfil **pessimista**). Esta regra é aplicada em três etapas:

1. Em uma primeira etapa, o decisor verifica, para cada alternativa, qual é a pior situação que pode ocorrer (no caso do exemplo, o menor valor em cada linha da Tabela 12.2).
2. Na segunda etapa, identifica o maior dentre os valores pré-selecionados.
3. Na etapa final, verifica qual alternativa está associada ao valor encontrado na segunda etapa, escolhendo-a.

Assim, para o Exemplo 12.9 um decisor que adotasse a regra maximin, escolheria a terceira alternativa.

<sup>5</sup> Atenção: é usual a confusão entre “expectativa de retorno” e retorno. Ou seja: ter a certeza de que ao se investir na alternativa I ocorrerá um lucro de R\$40.000,00. Esse raciocínio não é correto. Vale lembrar que ao investir na alternativa I, o investidor terá um dos seguintes retornos: lucro de R\$40.000, caso ocorra o cenário DMN; lucro de R\$15.000, caso ocorra o cenário EMN; ou prejuízo de R\$25.000, caso ocorra o cenário DVN.

### Regra do equilíbrio

Segundo esta regra de decisão, o decisor considera como a melhor opção a alternativa que apresente a melhor média entre os cenários. Assim, a aplicação desta regra é estruturada na realização das seguintes etapas pelo decisor.

1. Encontrar a média dos pagamentos para cada alternativa.
2. Escolher a alternativa com a melhor média.

Adotando esta regra, o decisor do Exemplo 12.9 optaria pela alternativa I (**reduzir a sua capacidade de produção**).

### Regra da ponderação do grau de otimismo do decisor

Esta regra só é aplicável quando há dois cenários de decisão: um cenário cuja ocorrência leva a resultados mais positivos para o decisor (denotado cenário otimista) e um outro cenário cuja ocorrência implica resultados mais negativos para o decisor (denotado por cenário pessimista). Nesta regra de decisão (também denominada Hurwicz), atribui-se ao decisor um coeficiente de otimismo ( $\alpha$ ), que representa o seu “grau de otimismo”.

O decisor considera como melhor opção a alternativa que apresente a melhor soma ponderada entre os cenários. Assim, a aplicação desta regra é estruturada na realização das seguintes etapas pelo decisor.

1. Atribui-se um grau de otimismo ( $\alpha$ ) ao perfil do decisor.
2. Identificam-se os cenários otimista e pessimista.
3. Multiplicam-se os valores de pagamentos associados ao cenário otimista por ( $\alpha$ ).
4. Multiplicam-se os valores de pagamentos associados ao cenário pessimista por ( $1-\alpha$ ).
5. Somam-se os valores encontrados para cada alternativa.
6. Escolhe-se a alternativa com a maior soma encontrada no passo anterior.

Exemplo 12.10. Considere uma adaptação do exemplo anterior, com apenas os dois cenários ilustrados na Tabela 12.3.

**Tabela 12.3.** Tabela de pagamentos para o Exemplo 12.10 (Hurwicz)

ALTERNATIVAS	CENÁRIOS	
	VMN	DMN
I	R\$25.000,00	(R\$5.000,00)
II	(R\$25.000,00)	R\$40.000,00
III	R\$10.000,00	R\$10.000,00

Nessa tabela, o cenário VMV pode ser considerado como otimista, e o cenário DMN como pessimista. Atribuindo (arbitrando) um grau de otimismo  $\alpha$  igual a 0,8; obtém-se a Tabela 12.4.

**Tabela 12.4.** Tabela de pagamentos modificada:  $\alpha = 0,8$

ALTERNATIVAS	CENÁRIOS		
	VMN	DMN	SOMA PONDERADA
I	R\$25.000,00*0,8	(R\$5.000,00)*(1 - 0,8)	R\$19.000,00
II	(R\$25.000,00)*0,2	R\$40.000,00*0,2	R\$27.000,00
III	R\$10.000,00*0,8	R\$10.000,00*0,2	R\$10.000,00

Adotando esta regra, o decisor do Exemplo 12.10 optaria pela alternativa I (**reduzir a sua capacidade de produção**).

**Dica:** Use as planilhas dos Exemplos 12.9 e 12.10 (arquivo Pc.xls) para simular e analisar diferentes situações para esses problemas, variando os parâmetros.

### considerações sobre as regras de decisão sob incerteza

Após a apresentação dessas regras de decisão, é comum surgirem reflexões e questionamentos quanto às respostas do Exemplo 12.1, apresentados sob a forma das seguintes indagações:

A melhor alternativa é a alternativa I (indicada pela regra maximax)?

Ou a melhor é a alternativa III (pela regra maximin)?

Ou, ainda, será a alternativa II (pela regra do equilíbrio)?

Como uma regra pode indicar uma solução diferente da indicada por uma outra regra? Alguma regra foi aplicada de forma incorreta? Qual é, de fato, a regra correta? A melhor alternativa?

Essas e outras indagações são usuais e pertinentes, trazendo ao centro da discussão uma importante indagação: existe, *a priori*, como se qualificar uma decisão como correta ou adequada? A seguir apresenta-se um “texto dramatizado” que busca reforçar esse questionamento:

“Há muito tempo, havia um produtor de calçados que tinha uma planta de produção com grande capacidade ociosa. Buscando aumentar a taxa de ocupação de sua unidade fabril, o gestor dessa planta resolveu fazer uma prospecção para avaliar a possibilidade de atuar em um novo mercado – mais especificamente considerava a possibilidade de atuar em uma determinada região do planeta.

Para fazer a prospecção de mercado, o gestor da organização mandou dois dos seus melhores vendedores (aqueles que durante os últimos vinte anos se alternavam como melhores vendedores e campeões de venda da tal empresa produtora de calçados) em uma viagem de um mês pela região que ele considerava com o potencial mercado para o seu negócio a fim de que eles “percebessem” esse mercado.

Os dois vendedores partiram juntos e chegaram ao destino em uma manhã ensolarada por volta das 9h (hora local). No dia seguinte, na chegada de seus vendedores ao destino, logo pela manhã, o tal gestor encontra dois e-mails em sua caixa de correspondência eletrônica. Ao ler o primeiro e-mail, encontrou a seguinte mensagem:

– Senhor presidente, sugiro fortemente ABORTAR o projeto de expansão, pois a população aqui NÃO usa sapatos.”

Já ao ler o segundo e-mail ele se deparou com a seguinte mensagem (enviada pelo seu outro emissário):

– Senhor presidente, sugiro fortemente ACELERAR o projeto de vender calçados na Índia, pois a população aqui AINDA não usa sapatos.

Essa dramatização ilustra o conceito que se tenta destacar aqui. Qual seja:

Em situações de decisão gerencial, não há como afirmar, *a priori*, se uma decisão está correta ou errada. O que se pode, quando muito, é obter decisões que seriam adotadas por um decisor com um determinado perfil.

#### 12.5.4 Regras para decisão sob risco

Em algumas situações de decisão, o decisor consegue associar probabilidades de ocorrência aos cenários, nesse caso tem-se uma decisão sob risco. Esta seção apresenta alguns algoritmos utilizados para tomada de decisão nesse tipo de situação de decisão. Para apresentação desses algoritmos faz-se uso do Exemplo 12.11, apresentado a seguir.

**Exemplo 12.11.** Considere a situação do Exemplo 12.9 com a seguinte alteração: o decisor consegue estimar as probabilidades de ocorrência dos cenários VMN (probabilidade = 0,3); EMN (probabilidade = 0,5); e DMN (probabilidade = 0,2). A Tabela 12.5 ilustra a Tabela de Pagamentos para essa nova situação.

**Tabela 12.5.** Tabela de pagamentos para o Exemplo 12.10

ALTERNATIVAS	CENÁRIOS		
	VMN PROB. = 0,3	EMN PROB. = 0,5	DMN PROB. = 0,2
I	R\$25.000,00	R\$15.000,00	(R\$5.000,00)
II	(R\$25.000,00)	R\$13.000,00	R\$40.000,00
III	R\$10.000,00	R\$10.000,00	R\$10.000,00

Essa tabela é tomada por base na apresentação dos algoritmos de decisão sob risco que se seguem.

#### Regra do maior valor monetário esperado

O Valor Monetário Esperado (VME) de uma alternativa é uma ponderação dos retornos da Tabela de Pagamentos, considerando-se a probabilidade como pesos de ponderação. A Tabela 12.7 ilustra os valores obtidos para o VME de cada uma das alternativas do Exemplo 12.10.

**Tabela 12.5.** VME para as alternativas do Exemplo 12.10

ALTERNATIVAS	VME	
	MEMÓRIA DE CÁLCULO	VALOR
I	$VME(I) = R\$ (25.000,00 \cdot 0,3 + 15.000,00 \cdot 0,5 - 5.000,00 \cdot 0,2) = R\$14.000,00$	R\$14.000,00
II	$VME(II) = R\$ (-25.000,00 \cdot 0,3 + 13.000,00 \cdot 0,5 + 40.000,00 \cdot 0,2) = R\$12.600,00$	R\$7.000,00
III	$VME(III) = R\$ (10.000,00 \cdot 0,3 + 10.000,00 \cdot 0,5 + 10.000,00 \cdot 0,2) = R\$10.000,00$	R\$10.000,00

Assim, para este exemplo, a alternativa escolhida pelo decisor, caso adotasse a regra do maior VME, seria a alternativa I (**reduzir a sua capacidade de produção**).

Uma importante vertente da decisão sob incerteza baseia-se no conceito de árvore de decisão. Por não ser o foco principal deste texto, a exploração dos métodos baseados em árvores de decisão não é aqui aprofundada. Porém, vale registrar que o princípio de árvores de decisão está presente no Método do VME.

É importante observar que o VME representa o retorno médio que seria obtido caso a decisão fosse repetida um número “grande” de vezes em que a probabilidade não se alterasse.

É erro comum incorrer numa interpretação apressada de que, caso se opte pela alternativa com o maior VME, o decisor terá um retorno imediato igual ao VME.

Assim, para o Exemplo 12.11, é errado imaginar que, caso o decisor opte pela alternativa I, ele obterá imediatamente um retorno de R\$14.000,00. Na realidade, nesse caso, o retorno ao decisor seria um dos valores constantes na Tabela de Pagamentos para esta alternativa: lucro de R\$25.000,00; lucro de R\$15.000,00 ou prejuízo de R\$5.000,00.

#### Regra do maior retorno no cenário mais provável

Apesar de o VME ser uma técnica muito utilizada e conhecida, o decisor poderia considerar que sua decisão só seria realizada uma única vez, naquelas condições de probabilidade, e adotar uma regra diferente. Por exemplo: escolher a alternativa com melhor retorno no cenário mais provável.

Aplicando esta regra ao problema ilustrado no Exemplo 12.10, o decisor optaria pela alternativa III. Observa-se que essa alternativa é a que apresenta maior retorno (R\$15.000,00) no cenário mais provável (cenário EMN: probabilidade = 0,5).

#### Considerações sobre as regras de decisão sob risco

Observa-se, então, que mesmo para decisão sob risco, em que o decisor consegue associar probabilidades aos cenários, dependendo da regra de decisão adotada, decisões diferentes são indicadas. Portanto, também nessa situação a subjetividade do decisor está presente no momento da escolha do algoritmo.



**Dica:** Para exercitar os conceitos apresentados na Seção 12.5 o leitor pode se valer do sistema computacional *Multiple Tool Choice* (MTC), disponibilizado no site da Editora Campus.

O planejamento da capacidade é um ponto de grande importância no estudo do Planejamento e Controle da Produção. Este é um campo muito amplo e que apresenta uma vasta gama de oportunidades de desenvolvimento e aprofundamento, as quais isoladamente poderiam ser motivação para se escrever um livro completo tratando apenas desse tema.

O texto aqui apresentado resume os métodos clássicos de apoio à decisão adotados no contexto do planejamento da capacidade e fornecem ao leitor a possibilidade de explorar esse tema com base em instrumental apropriado.

## 12.6 REVISÃO DOS CONCEITOS

Neste capítulo, discutiu-se sobre a capacidade de um processo, que é uma medida da quantidade que o processo pode produzir, sendo expressa em razões.

Essa medida não está necessariamente associada a uma taxa temporal.

A capacidade projetada ou capacidade de projeto de uma planta industrial é sua capacidade máxima sob condições ideais de operação. Nem sempre as organizações optam por operar a planta nesse limite ou nessa carga, por considerar que tal situação induz um ambiente de máxima tensão na organização: “a planta estaria operando no seu limite”, sem folga para absorver flutuações na oferta de insumos ou flutuações de demanda.

Nesse contexto, surge o conceito de utilização. A utilização é a razão entre a capacidade esperada ou capacidade efetiva e a capacidade projetada.

Foram apresentados conceitos sobre capacidade projetada ou capacidade de projeto, capacidade de um processo, capacidade operacional, planejamento da capacidade com base em previsões de demanda, planejamento da capacidade com base na Análise do Ponto de Equilíbrio (*Break even analysis*) e regras de decisão aplicadas ao planejamento da capacidade, além de desdobramentos da questão principal deste capítulo, que é o planejamento da capacidade.

## PALAVRAS-CHAVE

Capacidade projetada de um processo  
Capacidade de projeto de um processo  
Capacidade de um processo  
Capacidade operacional  
Planejamento da capacidade com base em previsões de demanda  
Planejamento da capacidade com base na Análise do Ponto de Equilíbrio  
Ponto de equilíbrio (*break even analysis*)

## 12.7 EXERCÍCIOS

1. Defina capacidade projetada de uma planta industrial. Por que essa medida de capacidade nem sempre pode ser utilizada para o planejamento dos recursos de produção?
2. Qual a relação entre capacidade projetada, utilização e eficiência? Explique cada um dos termos e conclua com o conceito de capacidade operacional. Qual a importância da capacidade operacional para o Planejamento e Controle da Produção?
3. Com base no Exemplo 12.3, calcule a capacidade operacional e a capacidade projetada (semanal) para uma rede de *fast-food*, assumindo os seguintes parâmetros: atender 36 pedidos por hora; funcionar 12 horas por dia nos 7 dias de semana; com utilização de 85% e eficiência de 83%.
4. Calcule um novo ponto de equilíbrio para o Exemplo 12.5, supondo um custo fixo mensal de R\$30.000,00, custo unitário médio da refeição de R\$6,50 e preço médio de venda de R\$9,50. Represente graficamente sua resposta, indicando as regiões de lucro e prejuízo.

*Use a planilha do arquivo Pc.xls para simular e analisar diferentes situações para os diversos problemas apresentados neste capítulo, variando os parâmetros de acordo com a situação desejada.*

**Tabela do Exemplo 12.7.** Comportamento previsto para a demanda do restaurante.

PERÍODO	QUANTIDADE	PERÍODO	QUANTIDADE	PERÍODO	QUANTIDADE	PERÍODO	QUANTIDADE
1	180	51	179	101	177	151	179
2	175	52	179	102	176	152	178
3	165	53	179	103	175	153	177
4	155	54	179	104	174	154	176
5	145	55	179	105	173	155	175
6	135	56	179	106	172	156	174
7	125	57	179	107	173	157	173
8	115	58	179	108	174	158	172
9	105	59	179	109	175	159	171
10	95	60	178	110	176	160	172
11	90	61	177	111	177	161	173
12	85	62	176	112	178	162	174
13	80	63	175	113	179	163	175
14	75	64	174	114	180	164	176
15	74	65	173	115	179	165	177
16	73	66	172	116	178	166	178
17	72	67	171	117	177	167	179
18	71	68	170	118	176	168	180
19	70	69	171	119	175	169	179
20	69	70	172	120	174	170	178
21	68	71	173	121	173	171	177
22	68	72	174	122	172	172	176
23	68	73	175	123	171	173	175
24	68	74	176	124	172	174	174
25	68	75	177	125	173	175	173
26	68	76	178	126	174	176	172
27	68	77	179	127	175	177	173
28	68	78	180	128	176	178	174
29	68	79	179	129	177	179	175
30	78	80	178	130	178	180	176
31	88	81	177	131	179	181	177
32	98	82	176	132	180	182	178
33	108	83	175	133	179	183	179
34	118	84	174	134	178	184	180
35	128	85	173	135	177	185	179
36	138	86	172	136	176	186	178
37	148	87	171	137	175	187	177
38	158	88	172	138	174	188	176
39	159	89	173	139	173	189	175
40	160	90	174	140	172	190	174
41	170	91	175	141	171	191	173
42	171	92	176	142	172	192	172
43	172	93	177	143	173	193	171
44	173	94	178	144	174	194	172
45	174	95	179	145	175	195	173
46	175	96	180	146	176	196	174
47	176	97	181	147	177	197	175
48	177	98	180	148	178	198	176
49	178	99	179	149	179	199	177
50	179	100	178	150	180	200	178

**Tabela do Exemplo 12.7.** Comportamento previsto para a demanda do restaurante (*continuação*).

PERÍODO	QUANTIDADE	PERÍODO	QUANTIDADE	PERÍODO	QUANTIDADE	PERÍODO	QUANTIDADE
201	179	251	177	301	173	351	171
202	180	252	178	302	174	352	172
203	179	253	179	303	175	353	173
204	178	254	180	304	176	354	174
205	177	255	179	305	177	355	175
206	176	256	178	306	178	356	176
207	175	257	177	307	179	357	177
208	174	258	176	308	180	358	178
209	173	259	175	309	179	359	179
210	172	260	174	310	178	360	180
211	171	261	173	311	177	361	179
212	172	262	172	312	176	362	178
213	173	263	171	313	175	363	177
214	174	264	172	314	174	364	176
215	175	265	173	315	173	365	175
216	176	266	174	316	172	366	174
217	177	267	175	317	173	367	173
218	178	268	176	318	174	368	172
219	179	269	177	319	175	369	171
220	180	270	178	320	176	370	172
221	179	271	179	321	177	371	173
222	178	272	180	322	178	372	174
223	177	273	179	323	179	373	175
224	176	274	178	324	180	374	176
225	175	275	177	325	179	375	177
226	174	276	176	326	178	376	178
227	173	277	175	327	177	377	179
228	172	278	174	328	176	378	180
229	171	279	173	329	175	379	179
230	172	280	172	330	174	380	178
231	173	281	171	331	173	381	177
232	174	282	172	332	172	382	176
233	175	283	173	333	171	383	175
234	176	284	174	334	172	384	174
235	177	285	175	335	173	385	173
236	178	286	176	336	174	386	172
237	179	287	177	337	175	387	171
238	180	288	178	338	176	388	172
239	179	289	179	339	177	389	173
240	178	290	180	340	178	390	174
241	177	291	179	341	179	391	175
242	176	292	178	342	180	392	176
243	175	293	177	343	179	393	177
244	174	294	176	344	178	394	178
245	173	295	175	345	177	395	179
246	172	296	174	346	176	396	180
247	173	297	173	347	175	397	179
248	174	298	172	348	174	398	178
249	175	299	171	349	173	399	177
250	176	300	-295	350	172	400	176

# Planejamento e controle da produção em serviços

LUIZ CESAR NANJI • MARA TELLES SALLES

## ■ OBJETIVOS DE APRENDIZADO

O principal objetivo deste capítulo é suscitar no leitor a necessidade de projetar para os serviços a visão sistematizada já existente e consagrada no planejamento, programação e controle de produtos industriais.

Com uma visão convencional desta área de conhecimento, tenta-se agregar a ela características inovadoras inerentes ao processo de mudança social.

Pretende-se oferecer ao leitor a compreensão da evolução do setor de serviços e a necessidade de inovação, além das principais características dos serviços. Adicionalmente, o leitor tomará conhecimento das etapas de elaboração do projeto de um serviço e dos conceitos clássicos de PCP aplicados em serviços. Por fim, o capítulo tratará do papel da tecnologia no desenvolvimento dos serviços.

## 13.1 INTRODUÇÃO

### 13.1.1 A evolução na aplicação dos serviços

O aumento da circulação das informações, o avanço das tecnologias disponíveis e a necessidade, cada vez maior, de usufruir maior conforto e qualidade de vida tem impulsionado o mundo em direção a uma utilização cada vez maior da indústria de serviços. A afirmação é válida não só para os países desenvolvidos, mas também para os países em desenvolvimento, onde já é possível inferir alguns resultados nesse sentido.

Apesar de sabermos que o nosso país demonstra uma distribuição desequilibrada, em termos de progresso, de distribuição de renda e de nível de educação, a preocupação em termos de serviços de qualidade, como acontece nos países desenvolvidos, já nos atinge, até porque as áreas de maior desenvolvimento começam a competir com serviços globais, que têm livre acesso em qualquer parte do mundo, observando sempre os mercados emergentes para se instalarem.

O IBGE realiza a Pesquisa Anual de Serviços, um levantamento por todo o território brasileiro, cujos resultados de 2002, 2003 e 2004 já estão disponíveis para consulta pública, demonstrando que, mesmo no Brasil, há evidências de crescimento do setor serviços, principalmente em alguns tipos específicos, como nos serviços de informação (telecomunicações e informática), de investigação, segurança, limpeza predial, serviços de transporte, desde a distribuição de produtos até o transporte ligado ao turismo, serviços de manutenção e reparação de veículos, objetos pessoais e prediais e os serviços auxiliares de agricultura, que têm tido crescimento médio anual entre 6% e 30%, um crescimento considerável.

### 13.1.2 Estratégias competitivas em serviços

Se tivermos uma segmentação nos serviços por áreas de desenvolvimento e também o estudo das possíveis áreas de interesse estratégico das empresas mundiais de serviço em expansão, com toda a certeza teremos muito a fazer em termos de aprofundamento dos estudos do planejamento, programação e controle em prol do aumento de nossa competitividade nessa grande área ainda inexplorada.

Outra vertente que deve ser explorada é o fato de que, mundialmente, as empresas e os consumidores têm buscado, mesmo nos bens industriais, serviços agregados. Isso, então, também tem se tornado uma alavanca para as empresas objetivarem a agregação dos serviços como valores estratégicos de gestão. O tema tem crescido nos meios científicos e nos congressos internacionais.

A competitividade tem fortalecido a área de serviços, bem como estimulado as empresas no sentido de serem sempre e, cada vez mais, criativas, mesmo quando seus produtos são *commodities*, com a finalidade de atingirem o destaque que a configuração original não permite e que, principalmente nesses casos, os serviços propiciariam, aumentando a probabilidade de estas se manterem no mercado.

Na busca de destaque, as organizações se voltam para evidenciar serviços que, apesar de agregarem novos valores aos bens, geram aumento de custo, necessitando de maiores ganhos, que para não impactarem diretamente o seu público, terão de ser diluídos pelo aumento da produção e da distribuição, levando as empresas a ampliarem seus mercados e se tornarem globais.

No Brasil, nos grandes centros, já encontramos o fortalecimento de empresas inter-regionais e internacionais nos ramos ligados a serviços aéreos, locação de automóveis, restaurantes, hotéis (grandes redes entrantes), seguros, financeiras, dentre outras.

Uma vez que essas mudanças estão se estabelecendo, elas necessitam também da inovação na forma de gerir seus negócios, buscando alternativas de mudanças na gestão dos sistemas de informações, da tecnologia, da produção, na gestão por franquias, na gestão financeira e de custos, entre outras inovações.

Se para a gestão de bens industriais, a produção deve se ater às necessidades dos seus mercados, para o caso dos serviços a situação requer maiores e mais bem detalhadas análises, além de conhecimentos mais efetivos sobre os anseios dos seus mercados, principalmente pelo caráter de consumo imediato e, na maioria dos casos, com uma grande proximidade entre o consumidor e o produtor, o que influencia direta e fortemente nas reações emocionais do cliente.

Visto isso, a preocupação com a qualidade na produção dos serviços deverá ser bem maior do que a qualidade na produção dos bens industriais, exigindo melhor treinamento, principalmente aplicado ao pessoal do atendimento (*front-office*). E, no caso de ser um sistema automatizado (*self-service*), deverá haver um cuidado redobrado ao projeto do sistema, levando em conta todos os momentos de interação sistema-cliente.

O nível de serviço, oriundo de pesquisa de satisfação, deve ser sistematicamente revisto e analisado, principalmente se não houver nenhuma proteção por patente ou tecnologia própria, pois a imitação se torna mais facilitada nesses casos, permitindo a entrada de concorrentes. Um bom exemplo hoje, no Brasil, é a guerra das empresas de telefonia celular, em que uma empresa está sempre reproduzindo as estratégias da outra, logo que é lançada, tornando predatória<sup>1</sup> a concorrência entre elas.

## 13.2 DEFINIÇÃO DE SERVIÇOS

### 13.2.1 Características dos serviços

Sabe-se que planejar a produção de serviços é diferente de planejar a produção de bens. Para o planejamento da produção de serviços, deve-se ter em mente as dimensões específicas e inerentes

<sup>1</sup> Concorrência predatória: termo utilizado em Economia segundo o qual as empresas, por utilizarem o poder econômico, conseguem manter os preços muito próximos ao custo global do serviço, eliminando ou reduzindo ao mínimo sua margem. Isso faz com que os concorrentes reduzam também seus preços para se manterem no mercado. Ganha a concorrência quem conseguir sobreviver por mais tempo. Depois os preços tendem a voltar para a faixa normal.

aos serviços que, de modo geral, são a intangibilidade, o consumo concomitante à produção e a participação mais ativa do cliente no processo produtivo.

A indústria de serviços difere da indústria de bens em diversos aspectos:

- na produção de bens, é possível estocar produtos acabados, enquanto na produção de serviços, o consumo é imediato e ocorre paralelamente à produção;
- o alto grau de contato com o consumidor o condiciona a um tempo limitado de espera e influencia diretamente sua satisfação e percepção de qualidade do serviço;
- serviços, em geral, estão sujeitos à maior variabilidade dos fatores de produção (entradas e saídas) e, conseqüentemente, estão pouco sujeitos à automação;
- a avaliação da qualidade dos serviços é mais complexa do que a mesma avaliação para o caso da produção de bens, dada a subjetividade do consumidor quanto às “especificações” esperadas.

Podem-se dispor os bens e serviços em uma escala segundo a qual, gradualmente, para um produto, vão variando as características típicas de bens e de serviços. A seguir são apresentados dois exemplos, para esclarecer melhor tais variações.

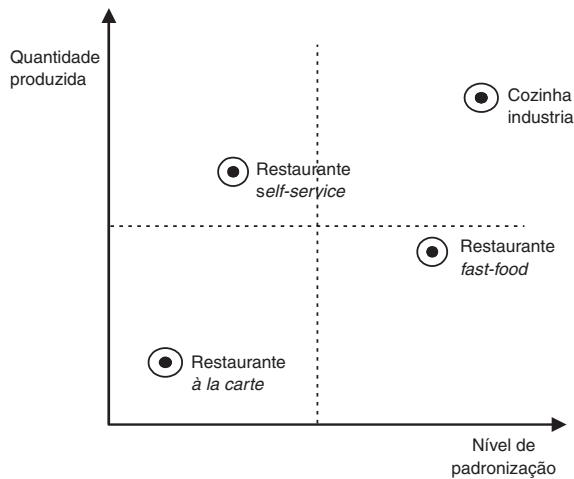


Figura 13.1. Nível de variação de bens/serviços para produtos da indústria de alimentos.

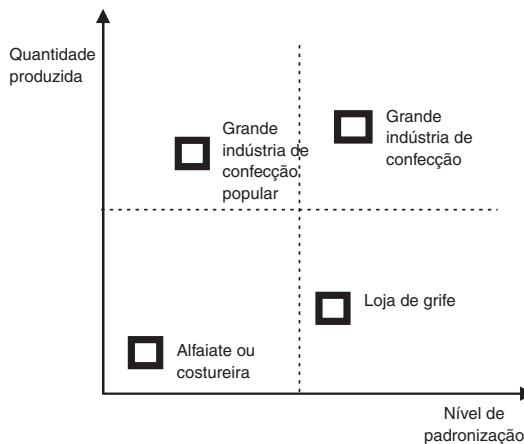
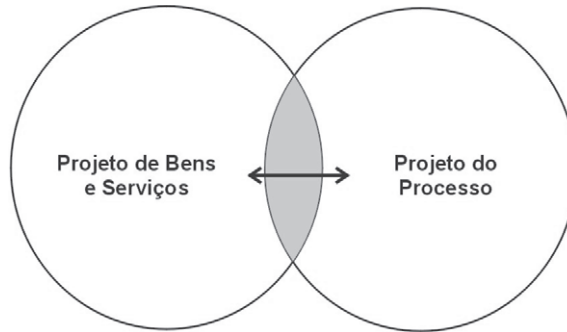


Figura 13.2. Nível de variação bens/serviços para produtos da indústria de vestuário.

### 13.3 PROJETO DE SERVIÇOS

Assim como os bens, os serviços devem ser projetados em dois âmbitos: o projeto do serviço e o projeto do processo. O projeto do serviço define exatamente o que se oferece ao cliente. O projeto do processo define como será oferecido o serviço. A relação entre ambos é tênue e interdependente, sendo fácil perceber que uma alteração no processo pode limitar o serviço, e vice-versa. A Figura 13.3 generaliza essa relação:



**Figura 13.3.** Interdependência entre Projeto do Serviço e Projeto do Processo.

Ao projetar um serviço, podemos estar interessados em desenvolver um serviço completamente novo para atender a um nicho de mercado inexplorado ou mesmo mercados existentes. Podemos ainda melhorar um serviço existente sob a ótica de algum objetivo de desempenho estratégico (qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo). Um projeto de serviço também pode ser desenvolvido para padronizar um serviço e torná-lo disponível em massa, ou, no caso oposto, personalizar um serviço, adaptando-o a uma nova categoria de consumidores.

Nesta seção, analisaremos as principais decisões táticas que definem um serviço, com foco especial no projeto do processo.

#### 13.3.1 Do conceito à especificação: o pacote de serviços

Projetar um serviço é um processo de múltiplas etapas, que evolui do conceito à especificação detalhada. Para a definição de um conceito, parte-se de uma idéia geral e atribui-se forma, função, propósito e os benefícios gerados para o cliente final. Normalmente, a partir de uma idéia, pode-se gerar diversos conceitos.

Cada conceito deve ser avaliado quanto à viabilidade (pode ser desenvolvido), aceitabilidade (rentabilidade do projeto) e vulnerabilidade (riscos envolvidos). Essa avaliação envolve diversas funções, como marketing, finanças e produção. A função marketing, por exemplo, avaliará os conceitos quanto aos mercados existentes e possibilidade de gerar novas demandas. Já a função produção avaliará quanto à habilidade da mão-de-obra, tecnologia e capacidade disponível para produzir o conceito, enquanto a função de finanças avaliará quanto ao capital disponível para investimento, margem de lucro, taxa de retorno etc.

Em seguida, elabora-se um projeto preliminar, no qual são especificados os componentes (“o quê”) e definidos os processos (“como”) de produção do serviço. A etapa seguinte refere-se à avaliação e melhoria do projeto, e os principais passos a serem seguidos são: eliminação de processos desnecessários, análise de valor agregado em cada etapa do processo e testes em condições extremas (robustez). A etapa final do projeto de serviço consiste na realização de simulações e correção de imperfeições remanescentes no processo, com o objetivo de diminuir o risco envolvido.

Na maioria das vezes, uma empresa não oferece um serviço puro a seus clientes, mas sim uma combinação de produtos e serviços. Sob o ponto de vista do cliente, podemos afirmar que este com-

pra um conceito, e não somente o serviço ou produto. Esse conceito possui características essenciais, que são comuns aos serviços concorrentes, e diferenciais, que destacam o serviço oferecido com algo novo e/ou diferenciado no mercado. A esse conjunto de características dos produtos e serviços oferecidos denominamos pacote de serviços. Gianesi e Corrêa (1994) classificam o pacote de serviços quanto aos seguintes elementos:

- **Instalações de apoio:** é o local onde é prestado o serviço. Por ser uma evidência física, seu aspecto é normalmente considerado pelo cliente em sua avaliação do serviço. Exemplo: estrutura física de lojas, ambiente, iluminação, organização.
- **Bens físicos facilitadores:** são produtos oferecidos ao cliente para serem utilizados no processo de prestação do serviço. Exemplo: peças para manutenção, cremes para massagem etc.
- **Serviços explícitos:** é o principal benefício percebido pelo cliente e razão de existir do serviço. Também são chamados de benefícios sensoriais. Exemplo: manutenção do automóvel.
- **Serviços implícitos:** são normalmente considerados como benefícios psicológicos e, muitas vezes, não são identificados de imediato, mas podem ser essenciais para a escolha do cliente. Exemplo: conforto, segurança, bom atendimento, qualidade do serviço.

**13.3.2 Processo e tecnologia**

A escolha do processo de serviço e da tecnologia empregada influenciará as decisões subseqüentes e pode ser diferenciada quanto ao grau de contato com o cliente, grau de participação do cliente no processo e grau de personalização do serviço. Essas dimensões têm impactos distintos em alguns critérios de desempenho, conforme Gianesi e Corrêa (1994).

**Tabela 13.1.** Critérios de desempenho em serviços

CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	ALTO GRAU DE CONTATO COM CLIENTE	ALTO GRAU DE PARTICIPAÇÃO DO CLIENTE NO PROCESSO	ALTO GRAU DE PERSONALIZAÇÃO DO SERVIÇO
Velocidade	Pode prejudicar	Pode favorecer	Normalmente prejudica
Atendimento	Pode enfatizar	Indiferente	Favorece
Flexibilidade	Favorece	Indiferente	Favorece
Acesso	Pode prejudicar	Pode prejudicar	Indiferente
Custo	Prejudica	Pode favorecer	Pode prejudicar

Fonte: Adaptado de Gianesi e Corrêa (1994).



**Figura 13.4.** Classificação dos tipos de processo de serviço.



Segundo Johnston e Clark (2002), podemos classificar os tipos de processos de serviço segundo a variedade e o volume oferecidos, conforme a figura 13.4.

- a) **Serviços em massa:** são serviços que apresentam altos volumes de transação por unidade de recurso (funcionário). Apresentam processos padronizados e a presença cada vez maior de sistemas de informação. As atividades desempenhadas tendem a ser especializadas, sendo uma pequena parte do processo total. Exemplos: *call centers*, serviços financeiros, serviços de transporte e lazer.
- b) **Serviços profissionais:** são serviços que se baseiam na habilidade ou experiência profissional de um ou mais indivíduos. São altamente especializados e compõem o maior ativo da empresa. Atualmente, o foco desses serviços tem sido a busca de soluções para seus clientes, através da inovação e atingimento de resultados tangíveis ou até mesmo intangíveis. Um desafio comum nesses serviços é a ampla variedade de atividades exercida pelos profissionais que o executam, exigindo não só conhecimentos técnicos, mas também gerenciais, como negociação de prazos, escopo etc. Daí a necessidade de alto nível de qualificação da mão-de-obra nesse tipo de processo. Exemplo: consultorias, desenvolvimento de softwares etc.
- c) **Lojas de serviços:** estão classificadas entre os extremos das operações de massa e profissionais. As lojas de serviços profissionais tentam padronizar alguns de seus produtos e proporcionar ganhos de escala, através da venda de soluções padronizadas, generalização do atendimento etc. Essa flexibilidade pode levar a margens de lucro maiores que nas operações “puramente” profissionais.

Já as lojas de serviços de massa tentam oferecer mais variedade através do maior contato com o cliente, investindo em treinamento da força de vendas, o que exige mais habilidade do que nos serviços de massa “puros”. Um dos grandes desafios é manter os custos baixos mesmo com o aumento da variedade oferecida.

O papel da tecnologia na gestão e automação dos serviços tem sido essencial para o crescimento desse setor. Com isso, as decisões de investimento em tecnologia assumem papel central no gerenciamento das operações de serviço. Dada sua importância crescente, achamos conveniente tratar desse tema em seção específica neste capítulo.

### 13.3.3 LOCALIZAÇÃO

A localização do serviço é um importante aspecto a ser observado, especialmente pelo fato já mencionado de que não se pode “estocar” ou “transportar” serviços.

Assim como na produção de bens, a definição da localização é um processo hierárquico: primeiro define-se a macrorregião do globo, em seguida o país, depois a área ou cidade do país e por último a localização específica da instalação. A Tabela 13.2 traz alguns aspectos a serem considerados e avaliados quanto à adequação ao serviço oferecido à localização, subdivididos pela hierarquia de decisões citada.

**Tabela 13.2.** Decisões hierárquicas de localização

MACRORREGIÃO	FATORES GEOPOLÍTICOS, CULTURAIS E METEOROLÓGICOS (CLIMA E TEMPERATURA)
<i>País</i>	Leis trabalhistas e comerciais, subsídios (impostos), infra-estrutura de transportes e comunicação, estabilidade política, economia de mercado
<i>Área ou cidade</i>	Disponibilidade e nível de instrução da mão-de-obra, infra-estrutura básica (energia, saneamento, transporte, comunicação), concorrência, fornecedores
<i>Local específico</i>	Fluxo de pessoas (clientes), fluxo de mercadorias, estacionamento próximo, custo do terreno, das instalações e manutenção, infra-estrutura básica

É importante ressaltar que os aspectos citados não são os únicos a serem considerados, e sua importância relativa pode variar, dependendo do tipo de serviço a ser oferecido. Algumas técnicas matemáticas de suporte à decisão podem ser aplicadas na priorização e avaliação desses aspectos (critérios).

Os métodos mais populares são:

- Método do Centro de Gravidade: consiste em calcular uma localização inicial que minimize o custo total de transporte entre os mercados e fornecedores e a localização da instalação.
- Método da Pontuação Ponderada: assume a existência de locais predefinidos para a instalação e busca avaliar quanto a critérios específicos cada localidade, de forma ponderada.
- Método do Ponto de Equilíbrio: assume a existência de locais predefinidos, e também assume o conhecimento dos custos fixos e variáveis em cada localidade. Busca determinar, com base nos níveis esperados de demanda, em que locais o custo total será menor.

Para detalhes sobre procedimentos matemáticos para os métodos supracitados, vide Slack *et al.* (2002).

### 13.3.4 ARRANJO FÍSICO

O arranjo físico (ou *layout*) de uma instalação de serviços determina o fluxo dos clientes e de materiais ao longo da prestação do serviço. Normalmente está associado ao tipo de processo em que o serviço é classificado (vide Seção 13.2). Basicamente, o tipo de arranjo físico pode ser classificado em:

- a) **Arranjo físico por produto:** é aquele no qual o serviço é executado “em série”, ou seja, a mesma seqüência de operações se aplica de forma repetitiva e em grandes volumes. Os recursos de produção estão organizados de forma a proporcionar um fluxo rápido de clientes. Um bom exemplo são os restaurantes *self-service*.
- b) **Arranjo físico por processo:** também conhecido como funcional. Os recursos são organizados de acordo com a função que exercem no processo produtivo. A seqüência do fluxo de clientes não é fixa, pois há variedade no serviço oferecido. Exemplos: supermercados, hospitais etc.
- c) **Arranjo físico posicional:** é aquele no qual o cliente não se movimenta ao longo do processo produtivo. Ele é processado num local único e os recursos se movimentam em torno dele. É favorável à personalização do serviço e conseqüente aumento na variedade oferecida. Exemplo: restaurante convencional (cliente sentado à mesa).

Na prática, os serviços apresentam uma combinação de arranjos físicos, de acordo com o *mix* de serviços oferecido e a etapa do processo em análise. Imagine um restaurante que ofereça um cardápio convencional e um serviço de bufê *self-service*. Na cozinha, os recursos estão organizados segundo um *layout* por processo (funcional), já que existem áreas específicas para congelados, temperos, verduras, sobremesas etc. Na área do bufê, o arranjo predominante é por produto, pois os clientes seguem um mesmo fluxo de “processamento”, escolhendo os alimentos desejados conforme percorrem a fila única. Já na área convencional, o cliente está sentado à mesa e é atendido pelo garçom, que recolhe seus pedidos e os leva até ele, sem que haja necessidade de locomoção do cliente, caracterizando um *layout* posicional. Podemos dizer, então, que o restaurante apresenta um arranjo físico misto.

### 13.3.5 Gestão da capacidade

Assim como na produção de bens, a gestão da capacidade produtiva em serviços é uma das preocupações centrais do PCP. Nas seções anteriores, tratamos da gestão da capacidade no longo prazo (localização e arranjo físico). Nesta seção, será abordada a gestão de capacidade no médio e curto prazo.

A gestão de capacidade visa atender a demanda prevista, seja com o objetivo de maximizar o uso dos recursos ou de oferecer o maior nível de disponibilidade ao cliente, dadas as restrições de custo e tempo. Em serviços, enfrentamos um constante *trade-off*<sup>2</sup> entre a utilização escassa ou excessiva dos recursos.

<sup>2</sup> *Trade-off*: conceito sem tradução, usado em Economia, que envolve a oscilação em busca do equilíbrio entre duas características desejáveis, quando ocorre que ao se aumentar uma delas reduz-se automaticamente a outra.

Um restaurante vazio, por exemplo, pode não trazer credibilidade, pois muitos clientes preferem os mais movimentados. Já um avião (recurso caro) não trará receita se for subutilizado. Uma sobrecarga em uma loja de serviços pode levar a filas longas e demoradas, resultando em desistência da compra. Enfim, um dos maiores problemas enfrentados pelas empresas de serviços é a demanda altamente variável, e o problema pode piorar se os recursos forem inflexíveis (funcionários altamente especializados, por exemplo). Assim, torna-se essencial desenvolver uma operação de resposta rápida e flexível.

### Estratégias de gestão de capacidade

Existem três estratégias básicas de gestão da capacidade produtiva em serviços. Embora poucas empresas apliquem apenas uma delas, o mais comum é observar a aplicação das três em conjunto. São elas:

#### a) *Estratégia do nível de capacidade constante*

Nesta estratégia, busca-se maximizar o uso de um ou mais recursos específicos, geralmente recursos caros e escassos. O *trade-off* mais comum é quanto à qualidade do serviço, uma vez que, para aumentar o uso do recurso, prioriza-se o volume. Um exemplo comum desta estratégia pode ser observado em empresas aéreas, nas quais a venda de passagens acima da capacidade produtiva pode ocasionar *overbooking* (excesso) de passageiros. No entanto, a qualidade do serviço pode ser afetada pela insatisfação dos clientes.

#### b) *Estratégia de acompanhamento da demanda:*

Esta estratégia busca flexibilizar o volume de seu serviço ao nível de demanda, de forma rápida e minimizando os custos operacionais. Sua aplicação é mais freqüente em serviços de massa, com alto volume e baixa variedade. É muito comum observarmos esta estratégia em restaurantes *fast-food* ou *self-service*, onde é necessário manter as filas pequenas, sob a pena de que o cliente pode não aceitar esperar pelo serviço.

Essa adaptação pode ser feita através de equipes de tempo parcial, que auxiliem as equipes em tempo integral nos horários de pico de demanda, ou até mesmo com uso de horas extras. Para isso, é necessário que a mão-de-obra receba treinamento flexível e que seja possível a subcontratação de funcionários temporários no curto prazo. Outra opção recente tem sido a utilização do próprio cliente no processo produtivo, através do auto-atendimento (por exemplo, bancos), aliviando a demanda em horários de pico. As Seções 13.4.4 e 13.4.5 tratam da questão do gerenciamento das filas e do problema de seqüenciamento em serviço, diretamente ligados a esta estratégia de gestão da capacidade.

#### c) *Estratégia de gestão da demanda*

Consiste em influenciar a demanda de forma a distribuí-la de acordo com a capacidade produtiva. Um exemplo clássico desta estratégia é o agendamento de horários de consultas médicas, ou ainda efetuação de reservas em restaurantes e hotéis. Um outro exemplo típico da adoção desta estratégia são as estratégias de preço, oferecendo descontos em horários de baixa demanda (por exemplo, *happy hour* nos restaurantes a partir de determinado horário). De forma parecida, pode-se restringir algum serviço em determinado horário de forma a inibir o cliente a procurar o serviço (por exemplo, estacionamentos rotativos com preços elevados em determinadas faixas de horário). Outros exemplos desta estratégia são: oferecimento de serviços especializados para segmentar a demanda, promoções e publicidade em épocas de baixo consumo.

### Gestão de gargalos

A **gestão de gargalos** pode ser aplicada aos serviços de maneira muito similar à produção de bens. Um gargalo é, por definição, a etapa do processo com menor capacidade que restringe a capacidade de toda a operação. Mais detalhes sobre identificação de gargalos podem ser encontrados no Capítulo 7.

É muito comum o investimento desnecessário em etapas do processo que nada contribuem com a capacidade da operação. Recomenda-se o mapeamento do processo e a identificação dos gargalos para, somente então, priorizar os investimentos necessários de modo a expandir a capacidade produtiva. Uma vez identificado o gargalo da operação, simplifique ao máximo suas tarefas e assegure que defeitos não passem no gargalo, resultando, assim, no aproveitamento máximo de sua capacidade.

Gestão da “zona de risco”

Freqüentemente, nas operações de serviço, percebemos que a qualidade do serviço oferecido tende a cair em função do volume de atendimento, ou seja, quanto maior a utilização dos recursos de produção, menor a qualidade percebida pelos clientes. O mesmo efeito pode ser observado quando a utilização é muito baixa. Johnston e Clark (2002) sugerem que a “zona de risco” deve ser estudada e gerenciada conforme alguns princípios:

- determine a medida de mensuração da utilização dos recursos. Exemplos: mesas e cadeiras ocupadas, número de funcionários atuando no atendimento, capacidade da cozinha etc;
- trace o perfil de perspectivas do seu cliente, através de pesquisas de satisfação, e relacione esses dados com a utilização dos recursos no tempo;
- entenda a natureza da “zona de risco”. Em alguns casos, a baixa utilização dá a sensação de “vazio” e pode desagradar determinados clientes. Da mesma forma, os recursos podem não atingir sua eficiência máxima e comprometer o tempo de entrega. A alta utilização pode provocar atrasos, faltas e pressão na mão-de-obra, comprometendo a qualidade;
- determine o ponto de operação ideal. A longo prazo, uma política de ocupação de 80%, por exemplo, pode garantir a satisfação e retorno de clientes. Outra vantagem dessa política é poder flexibilizar o volume em ocasiões especiais. Caso não haja compromisso com o retorno do cliente, o que ocorre, por exemplo, em alguns pontos turísticos, é comum a política de ocupação de 100% dos recursos;
- desenvolva estratégias para a “zona de risco”. Podem ser adotadas as estratégias mencionadas na Seção 3.5.1, em especial, a gestão da demanda e a flexibilização da mão-de-obra.

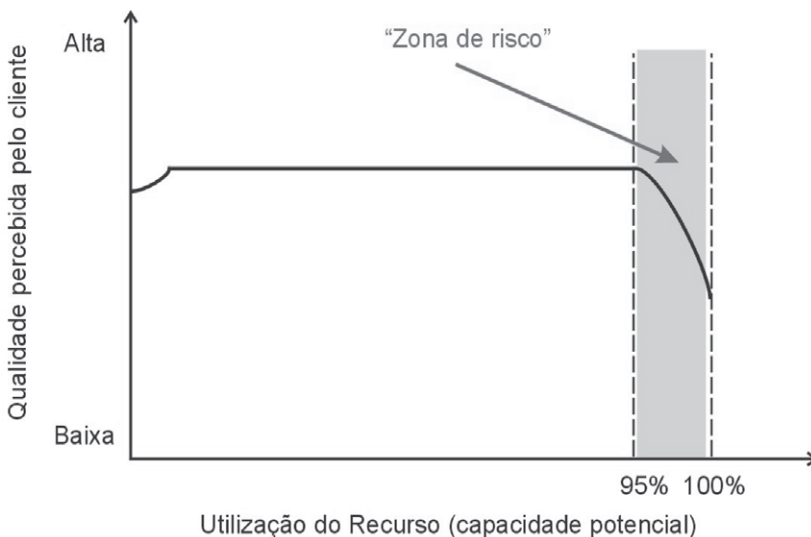


Figura 13.5. Zona de risco em um restaurante (Johnston e Clark, 2002).

## Gestão de pessoas em serviço

Apesar do grande avanço da tecnologia da informação, na maioria das vezes os serviços são prestados por pessoas. A capacidade de um serviço depende de seus funcionários, e estes representam, muitas vezes, a maior parte do custo operacional. Em muitos serviços, a própria experiência é o produto a ser vendido, e o contato com o cliente é de fundamental importância para o sucesso.

Os encontros com o cliente, também chamados de “encontros de serviços” podem ocorrer de diversas maneiras, em ordem crescente de complexidade: remotamente (cartas, e-mails), por telefone (*call centers*) e face a face.

Em muitos serviços, o cliente é considerado um “funcionário temporário”, como se fosse um recurso da própria empresa.

Para gerenciar o “encontro de serviços”, é necessário estabelecer padrões de discernimento, que incluem aspectos de atitude e comportamento do funcionário. Esse “padrão” é conhecido como roteiro de serviço, e sua principal função é dar consistência e eficiência na execução do serviço, além de servir como base do treinamento de novos funcionários. Além disso, é uma ótima ferramenta de difusão da cultura da empresa.

Segundo Tansik e Smith (2000), algumas das funções abordadas em um roteiro de serviço são:

- orientar o funcionário a descobrir o que o cliente deseja ou necessita;
- controlar o cliente, com mínima interrupção, através de sugestões sutis;
- estabelecer rotinas históricas relevantes para o encontro de serviço, como por exemplo, ter em mãos os documentos corretos antes do *check-in* de uma companhia aérea;
- facilitar o comportamento organizado; sendo um guia para o comportamento das equipes de funcionários.

No entanto, a utilização de roteiros deve ser cuidadosa, para não comprometer a flexibilidade dos funcionários, ou mesmo levá-los a atitudes “robotizadas”, percebidas facilmente pelos clientes.

Algumas atividades de serviço podem ser extremamente estressantes para os funcionários, e os gerentes precisam estar atentos aos problemas relacionados a ansiedade e exaustão. Algumas medidas para amenizar esses problemas são a limitação do tempo de contato com o cliente (descansos em intervalos regulares e/ou atividades variadas), investimento em treinamento e trabalho em equipe, compartilhando responsabilidades.

O termo *empowerment* é comumente usado para descrever o ato de transferir autonomia de decisão e responsabilidade para os funcionários. Em serviços, o balanceamento entre *empowerment* e controle é fundamental. Os roteiros de serviço auxiliam nesse processo, mas o maior desafio para as empresas tem sido gerenciar a criatividade da força de trabalho, de forma a limitar os excessos do processo criativo sem inibi-lo, adequando-o à cultura organizacional da empresa.

## 13.4 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO DE SERVIÇOS

### 13.4.1 Os níveis do planejamento dos serviços

Grande parte das categorias dos serviços é impactada pelas limitações da mão-de-obra direta ou indiretamente ligada a ela, por depender intensamente da mesma. Não é incomum procurarmos por um serviço e não o obtermos porque o operador de parte daquele processo ficou doente ou está de férias.

O nível de serviço disponibilizado por uma mesma empresa pode oscilar, dependendo de situações como troca do gerente, venda da empresa, troca de operador de atividade importante ou até mesmo alta rotatividade de mão-de-obra, exigindo gastos não previstos com treinamento etc.

Independentemente do setor de serviços a que nos estamos referindo, há que elaborar sempre um conjunto de indicadores para que se possa projetar e programar a produção, apesar dos fatores que podem influenciar no nível do serviço.

**13.4.2 Alguns tipos de serviços e a criação de conjuntos de indicadores adequados**

Desde que já tenhamos elaborado o conjunto de indicadores para determinado serviço, poderemos medir e registrar demandas ao longo do tempo e projetar capacidades para curto, médio e longo prazo. E, em função dos cenários que forem traçados, dependentes da demanda, capacidade da concorrência e capacidade interna, planejar o crescimento do negócio, sua redução ou mudança de direcionamento.

Algumas unidades que podem servir como exemplos de atividades de serviço são:

UNIDADES DE CAPACIDADE PARA SERVIÇOS	
Hospital	Número de Leitos
Universidade	número de alunos
	número de professores
Transporte de Passageiros	quantidade de lugares
Restaurante	quantidade de lugares
	quantidade de mesas
Centro de Pesquisa	quantidade de publicações
Jornal	quantidade de leitores
	quantidade de assinantes
Agência de Publicidade	quantidade de clientes por categoria
	quantidade de leitores do veículo de comunicação

**13.4.3 Decisões de alteração de capacidade**

Em uma fábrica de automóveis, facilmente se obtém a capacidade de produção de veículos por dia. Já no caso de uma oficina mecânica, a capacidade é extremamente variável, seja pela gama de serviços prestados, pela demanda muito variável ou pela variabilidade da capacidade produtiva dos funcionários.

Trabalha-se, portanto, com o objetivo de obterem-se estimativas confiáveis, pouca variabilidade em produtividade para se atingir um melhor resultado no planejamento da capacidade.

Como, na verdade, o que o profissional de planejamento e controle da produção persegue é a capacidade de suprir demandas existentes e projetadas pelo marketing, deve-se observar as seguintes necessidades:

- aumento da capacidade;
- redução da capacidade;
- atuação direta na alteração da demanda (marketing).

De início, antes mesmo de observar todos os aspectos mencionados, é preciso que seja desenvolvido conhecimento sobre o comportamento do mercado, em termos de demanda, concorrência e ações estratégicas ligadas à política dos governos.

Uma vez detectada a necessidade de aumentar a capacidade, deve-se observar se essa necessidade deverá ser suprida no curto, médio ou longo prazo.

**Decisões de curto prazo**

Para o curto prazo (em até um semestre) podem ser tomadas as ações de:

1. aumentar o número de funcionários naqueles postos de trabalho críticos em horários de pico (deslocamento interno ou remanejamento);
2. aumentar as horas trabalhadas com horas extras e turnos extras;
3. subcontratar terceiros;
4. contratar mais mão-de-obra (permanente ou temporária);
5. remodelar o sistema para receber a participação mais efetiva do cliente na elaboração do serviço.

Exemplos:

- Os grandes mercados que utilizam baterias de caixas nas saídas, em horários de aumento de movimento, deslocam mais profissionais para os caixas sem prejuízo dos setores onde estes atuam (estoques, prateleiras, lanchonete etc).
- Durante as férias escolares, no período que precede o Natal, várias lojas contratam mão-de-obra temporária para atuar nas vendas natalinas. Um cuidado que deve ser tomado, nesse caso, é quanto à seleção dessa mão-de-obra, pois a falta de treinamento ou até mesmo de experiência no negócio pode comprometer seu futuro.
- Outra situação comum de se encontrar em pontos-de-venda, em épocas de aumento de demanda, mesmo em lojas cujo atendimento é feito por vendedores, é a disposição de bancas com mercadorias aglomeradas (chamadas de feirinhas) que têm o propósito tanto de induzir o aumento das vendas como uma menor alocação de tempo de trabalho do vendedor, o que passa a ser uma alocação do tempo do cliente, evitando a contratação de pessoas.

#### Decisões de médio prazo

Para o médio prazo, é preciso ter em mente que as previsões são mais imprecisas do que as previsões para o curto prazo. Normalmente, para esse nível, as ações são traçadas com maior responsabilidade da área de estratégia da empresa.

Há, nesse caso, um tempo maior para trabalhar nas comunicações, tanto para os clientes quanto para os fornecedores e colaboradores.

O espectro do tempo de que se está falando diz respeito ao período em torno de 6 a 18 meses, e o conjunto de ações é praticamente o mesmo do conjunto de ações para o curto prazo, com acréscimo de expansão um pouco mais permanente, como aumento das instalações físicas, remodelagem de *layout*, contratação de mão-de-obra, entre outras.

#### Decisões de longo prazo

Para o longo prazo, as ações deverão estar mais ligadas ainda ao nível mais elevado da hierarquia organizacional. O prazo a que nos referimos agora é acima de 18 ou 24 meses.

No caso do aumento da capacidade para o longo prazo, deve-se pensar em aumentos mais consideráveis, que, normalmente, esbarram em limitações preexistentes físicas, de tecnologia e, até mesmo, de estratégia, ou seja, limitações estruturais.

O ideal é que esse aumento de capacidade se dê um pouco antes da demanda se estabelecer, na maioria dos casos, pois a falta de agilidade da organização em oferecer essa capacidade pode proporcionar a um concorrente a absorção da demanda, no momento em que ela se estabeleça.

Normalmente, esse aumento de capacidade requer um grande investimento, planejamento financeiro feito com grande antecedência, pesquisa sobre o mercado de longo prazo e pesquisa de tecnologias disponíveis no nível mundial, além de estar traçando sempre o cenário político mundial ao longo de todo o tempo.

#### 13.4.4 O gerenciamento das filas

Na indústria de manufatura, pode-se dispor de estoques para tentar equilibrar as variações de demanda. Já na indústria de serviços, o que substitui a geração de estoques é o agendamento de serviços ou o gerenciamento de filas. Como na maior parte dos serviços o cliente é parte integrante do produto, a maneira de se realizar estoques é “estocar” clientes, daí vem a filosofia de agendas ou filas.

Partindo-se de algumas das afirmações feitas por Maister (1985) acerca da “psicologia das filas”, devem ser levadas em conta as seguintes premissas para se projetar um processo de espera para os clientes:

- o tempo em espera é sempre percebido como maior;
- o tempo ocioso também é percebido como maior do que o tempo ocupado;

- o tempo em espera (pré-processamento) sempre parece maior do que o tempo gasto na efetivação do serviço;
- a paciência ou tolerância do cliente ao tempo de espera é tanto maior quanto maior for o valor que ele dá aos resultados do serviço;
- se o cliente está só, o tempo de espera lhe parece maior do que se estiver em grupo;
- se o cliente recebe informações sobre o andamento da fila, a espera parece menor.

Baseando-se nos princípios implícitos citados, deve-se modelar o projeto do processo de espera dependendo do tipo de serviço, do tipo de público, da cultura local quanto às filas do serviço, da expectativa dos clientes e do seu grau de satisfação com as experiências já vividas por eles no tipo de serviço que se está projetando. Podem ser citados alguns casos do nosso dia-a-dia que abarcam as melhores soluções a serem dadas em cada caso.

Em caso de espera em que se pode antecipar, de alguma forma, o início do processo de atendimento: o “papa-filas”. Um exemplo veio com a privatização das rodovias no Brasil, enquanto formam-se as filas de automóveis, alguns funcionários são deslocados para fazer a cobrança do pedágio, fornecendo um comprovante de pagamento a ser entregue na cabine. Isso reduz o tempo gasto de cada operador de cabine com a redução das atividades de sua responsabilidade. O mesmo acontece nos restaurantes *fast-food*, quando funcionários adiantam o processo antecipando a anotação dos pedidos dos clientes para, no caixa, o operador só ter de encomendar, cobrar o pagamento e entregar o pedido.

Para o caso de um consultório médico ou odontológico, por exemplo, há a solução de marcar horário com intervalos que ocupem uma média de tempo que corresponda à média de tempo de atendimento individual. O problema pode se agravar se os clientes começarem a não chegar nos horários marcados ou se há uma concentração grande de clientes de primeira consulta em determinado período. Para esse último caso existe treinamento e previsibilidade e, para o anterior, a solução deveria girar em torno da troca oportuna da ordem de atendimento guiada pelo horário marcado (prioritário) e pela ordem de chegada do cliente.

Para bancos já existem basicamente dois sistemas em uso: o da fila única, que distribui a demanda pelos postos, à medida que vão desocupando, e o das senhas, em que os clientes podem aguardar sentados podendo ocupar seu tempo com leitura ou assistindo à TV. Alguns restaurantes em horário de pico montam estruturas provisórias em que recebem seus clientes e já começam o atendimento com entradas, drinques ou tira-gostos.

### 13.4.5 Seqüenciamento em serviços

O problema de seqüenciamento é um dos mais estudados na área de produção. Em serviços, tal problema torna-se ainda mais importante em função de suas particularidades, tal como a impossibilidade de “estocar” clientes, a não ser que se utilizem filas de espera, causa constante de insatisfação na prestação de qualquer serviço. Outro agravante é a maior imprevisibilidade da demanda em serviços.

Diversos modelos vêm sendo desenvolvidos nas últimas décadas, com elevado grau de complexidade matemática, envolvendo programação linear inteira e mista e até programação não-linear com resolução através de heurísticas. Nesta seção, serão apresentadas abordagens simples do problema de seqüenciamento em serviços, como foco na gestão da capacidade (funcionários), que possibilitem ao leitor um primeiro contato com o tema, através de exemplos resolvidos de forma intuitiva e via programação linear.

#### Exemplo 13.1. Escalonamento de Turnos por abordagem intuitiva

Suponha um restaurante cuja necessidade de funcionários para o turno da noite seja dada pela tabela a seguir:



**Tabela 13.3.** Necessidade de funcionários por dia da semana – Exemplo 13.1

SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
5	4	3	8	9	9	7

Sabe-se que cada funcionário tem direito a dois dias consecutivos de descanso semanalmente, restrição que deve ser respeitada.

O objetivo desta abordagem é alocar o mínimo de funcionários possível, de forma a atender as necessidades de cada dia de trabalho. Para isso, escalas diferentes de trabalho poderão ser adotadas, como por exemplo, trabalhar de terça a sábado e folgar no domingo e na segunda. Intuitivamente, tenta-se alocar as folgas dos funcionários (dois dias consecutivos) nos dias de menor necessidade de trabalho. A seguir, descreve-se o procedimento de alocação.

Antes de alocar um funcionário, escolhe-se o par de dias consecutivos (pois é a restrição imposta pelo problema) cuja soma da necessidade de funcionários seja menor, dentre todos os pares possíveis, conforme a seguir:

$$\text{SEG-TER} = 5 + 4 = 9$$

$$\text{TER-QUA} = 4 + 3 = 7$$

$$\text{QUA-QUI} = 3 + 8 = 11$$

$$\text{QUI-SEX} = 8 + 9 = 17$$

$$\text{SEX-SAB} = 9 + 9 = 18$$

$$\text{SAB-DOM} = 9 + 7 = 16$$

$$\text{DOM-SEG} = 7 + 5 = 12$$

Nesse exemplo, escolhemos o par TER-QUA (soma = 7).

Alocamos então o funcionário 1 para trabalhar de QUI a SEG, com descanso na TER e na QUA. A seguir, atualizamos a tabela de necessidade de funcionários (b), conforme a tabela a seguir. As necessidades de TER e QUA permanecerão, pois o funcionário alocado terá folga nesses dias.

**Tabela 13.4.** Alocação do funcionário 1 – Exemplo 13.1

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
(a) Necessidade de funcionários	5	4	3	8	9	9	7
Funcionário 1 (QUI a SEG)	1			1	1	1	1
(b) Necessidade de funcionários	4	4	3	7	8	8	6

Para alocar o segundo funcionário, verificamos novamente a soma das necessidades de todos os pares de dias consecutivos. Novamente, o par TER-QUA é escolhido por apresentar a menor soma ( $4+3 = 7$ ). O funcionário 2 será então alocado para trabalhar de QUI a SEG, a exemplo do primeiro.

Atualiza-se a necessidade de funcionários (c) e repete-se o procedimento até que a necessidade de todos os dias seja suprida.

**Tabela 13.5.** Alocação do funcionário 2 – Exemplo 13.1

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
(b) Necessidade de funcionários	4	4	3	7	8	8	6
Funcionário 2 (QUI a SEG)	1			1	1	1	1
(c) Necessidade de funcionários	3	4	3	6	7	7	5

Em casos de empates na soma da necessidade dos pares de dias, pode-se levar em conta a preferência dos funcionários. No exemplo a seguir, a preferência é folgar nos pares TER-QUA, seguido de SEG-TER e depois QUA-QUI, o que servirá como critério de desempate.

Prosseguindo dessa forma até que todas as necessidades de funcionários sejam supridas, temos a tabela completa:

**Tabela 13.6.** Resolução do Exemplo 13.1

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
(a) Necessidade de funcionários	5	4	3	8	9	9	7
Funcionário 1 (QUI a SEG)	1			1	1	1	1
(b) Necessidade de funcionários	4	4	3	7	8	8	6
Funcionário 2 (QUI a SEG)	1			1	1	1	1
(c) Necessidade de funcionários	3	4	3	6	7	7	5
Funcionário 3 (QUI a SEG)	1			1	1	1	1
(d) Necessidade de funcionários	2	4	3	5	6	6	4
Funcionário 4 (QUA a DOM)			1	1	1	1	1
(e) Necessidade de funcionários	2	4	2	4	5	5	3
Funcionário 5 (TER a SAB)		1	1	1	1	1	
(f) Necessidade de funcionários	2	3	1	3	4	4	3
Funcionário 6 (QUI a SEG)	1			1	1	1	1
(g) Necessidade de funcionários	1	3	1	2	3	3	2
Funcionário 7 (SEX a TER)	1	1			1	1	1
(h) Necessidade de funcionários	0	2	1	2	2	2	1
Funcionário 8 (TER a SAB)		1	1	1	1	1	
(i) Necessidade de funcionários	0	1	0	1	1	1	1
Funcionário 9 (QUI a SEG)	1			1	1	1	1
(j) Necessidade de funcionários	0	1	0	0	0	0	0
Funcionário 10 (SEX a TER)	1	1			1	1	1
(k) Necessidade de funcionários	0	0	0	0	0	0	0

Ao final do procedimento, podemos concluir que o restaurante precisará de 10 funcionários, alocados nas seguintes escalas:

**Tabela 13.7.** Solução do Exemplo 13.1

ESCALA DE TRABALHO	NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS
TER a SAB	2
QUA a DOM	1
QUI a SEG	5
SEX a TER	2
Total =	10

Pode-se ainda calcular a folga (diferença) entre os funcionários alocados e a necessidade de funcionários, conforme a tabela a seguir:

**Tabela 13.8.** Cálculo da folga no Exemplo 13.1

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
Necessidade de funcionários	5	4	3	8	9	9	7
Funcionários alocados	7	4	3	8	10	10	8
<b>Folga</b>	2	0	0	0	1	1	1

Vale ressaltar que esse método não garante a minimização da folga total, mas sim dos dias em que há pouca necessidade de mão-de-obra.

**Exemplo 13.2.** Escalonamento de Turnos por abordagem usando programação linear

Um *call-center* deseja dimensionar sua mão-de-obra para atender à demanda diária representada através do mínimo de atendentes em intervalos de 3 horas, conforme a Tabela 13.9.

Sabe-se que o turno de trabalho de cada atendente dura 6 horas. As trocas de turnos podem ser realizadas em qualquer um dos horários mostrados na tabela 13.9, ou seja, às 0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h ou 21h.

**Tabela 13.9.** Necessidade de funcionários por intervalo – Exemplo 13.2

INTERVALO	HORÁRIO	NÚMERO MÍNIMO DE FUNCIONÁRIOS
1	0h às 3h	7
2	3h às 6h	6
3	6h às 9h	12
4	9h às 12h	31
5	12h às 15h	36
6	15h às 18h	41
7	18h às 21h	32
8	21h a 0h	21

Denominamos  $x_1$  como o número de funcionários que serão alocados para iniciarem seu trabalho no início do intervalo 1. Dessa forma, esses funcionários estarão disponíveis até o final do intervalo 2, uma vez que o turno de trabalho dura 6 horas. Analogamente, denominamos  $x_2$  como o número de funcionários que iniciarão seu trabalho no início do intervalo 2 e assim por diante.

O objetivo dessa modelagem é minimizar o número total de funcionários, de forma a atender a necessidade de cada intervalo, usando programação linear. A formulação do problema pode ser feita como segue:

$$\text{Min } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \quad (\text{total de funcionários})$$

Sujeito a  
(restrições de necessidade de funcionário)

$$\begin{array}{rcl}
 x_1 & + x_8 \geq 7 & \text{intervalo 1 (0h às 3h)} \\
 x_1 + x_2 & \geq 6 & \text{intervalo 2 (3h às 6h)} \\
 x_2 + x_3 & \geq 12 & \text{intervalo 3 (6h às 9h)} \\
 x_3 + x_4 & \geq 31 & \text{intervalo 4 (9h às 12h)} \\
 x_4 + x_5 & \geq 36 & \text{intervalo 5 (12h às 15h)} \\
 x_5 + x_6 & \geq 41 & \text{intervalo 6 (15h às 18h)} \\
 x_6 + x_7 & \geq 32 & \text{intervalo 7 (18h às 21h)} \\
 x_7 + x_8 & \geq 21 & \text{intervalo 8 (21h a 0h)}
 \end{array}$$

$$x_i \geq 0 \quad \forall i$$

Repare que, para cada intervalo de 3 horas (restrições anteriores), acumula-se o número de funcionários que entrou no intervalo anterior e no intervalo em questão, uma vez que os turnos duram dois intervalos (6 horas).

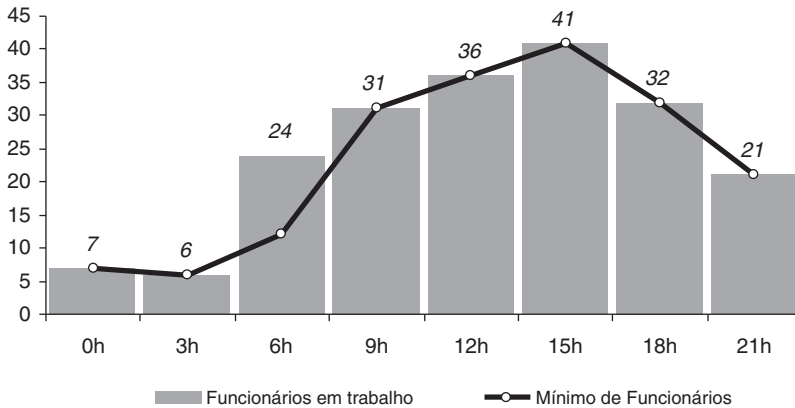
Resolvendo o problema de programação linear proposto, temos como solução:

$$x_1 = 6 ; x_2 = 0 ; x_3 = 24 ; x_4 = 7 ; x_5 = 29 ; x_6 = 12 ; x_7 = 20 ; x_8 = 1 .$$

Para verificar o atendimento das restrições, podemos representar graficamente o número de funcionários em trabalho em cada intervalo e o mínimo de funcionários necessários, conforme a Tabela 13.10 e a Figura 13.6 a seguir:

**Tabela 13.10.** Solução obtida para o Exemplo 13.2

VARIÁVEL: NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS DE CADA TURNO	TOTAL DE FUNCIONÁRIOS NO INTERVALO	NÚMERO MÍNIMO DE FUNCIONÁRIOS NO INTERVALO	
x1	6	7	7
x2	0	6	6
x3	24	24	12
x4	7	31	31
x5	29	36	36
x6	12	41	41
x7	20	32	32
x8	1	21	21



**Figura 13.6.** Solução obtida para o Exemplo 13.2.

Como mencionado anteriormente, os exemplos aqui apresentados são de natureza simples e de fácil implementação, porém com pequena representatividade de situações reais. Ao incorporar todas as restrições existentes em problemas reais de escalonamento de turnos, a complexidade da modelagem aumenta bastante. Podem coexistir, por exemplo, funcionários em tempo integral e parcial. Pode-se levar em conta, também, a existência de paradas obrigatórias durante os turnos de trabalho (almoço, jantar, períodos de descanso). Há ainda, por força da lei, diferenças na duração dos turnos noturnos e diurnos. Além disso, em grandes empresas, é comum a necessidade de negociações com sindicatos ao se tentar mudar radicalmente os horários dos turnos de trabalho.

### 13.5 TECNOLOGIA COMO SUPORTE AOS SERVIÇOS

#### 13.5.1 Inovação tecnológica e tecnologia da informação

A inovação tecnológica em serviços é um tema importante a ser considerado, pois ela pode reverter cenários em que a percepção do cliente é negativa em função do mau desempenho do serviço prestado por motivos diversos como falta de qualificação do pessoal de atendimento ao público, falta de padronização na prestação do serviço ou, até mesmo, pela questão da conveniência, hoje tão valorizada pelo cliente.

Além das vantagens de o custo da tecnologia estar cada vez mais acessível, da padronização, rapidez e confiabilidade proporcionadas pela adoção da tecnologia, muitas vezes deve-se levar em conta a aceitação crescente do uso da tecnologia pelo consumidor, fator cultural que inclui ou exclui o indivíduo perante a sociedade onde ele vive.

### 13.5.2 Tecnologia da informação promovendo qualidade na relação de consumo

Um dos setores de serviços que melhor soube usufruir desde cedo das prerrogativas do uso da tecnologia e da inovação tecnológica foi o setor bancário. Se voltássemos no tempo cerca de 10 ou 15 anos, lembraríamos que os estabelecimentos bancários eram extremamente cheios e concentrados em poucas e grandes agências, onde os usuários dispensavam grande parte de seu tempo para fazer uma simples retirada ou pagar suas contas. Hoje, é inegável, aos olhos do consumidor, que houve um grande salto de qualidade no serviço de atendimento bancário. Isso foi possível em função do uso amplo de inovação tecnológica e da adoção da Tecnologia da Informação, cada vez mais especializada e confiável.

### 13.5.3 E-Service

Genericamente, as dimensões dos serviços que têm atualmente obtido maior valorização junto ao mercado consumidor são a confiabilidade, a padronização, a rapidez, a facilidade de uso, a localização, a relação custo/benefício e a conveniência. Isso certamente deve ser levado em conta quando se projetam serviços para um tipo de consumidor com estilo de vida característico, que dispõe de pouco tempo para a aquisição de serviços básicos e valoriza o conforto no momento da compra.

Existe uma tendência mundial de crescimento da quantidade desse público e, no Brasil, não está sendo diferente. Segundo a Câmara Brasileira de Comércio Eletrônico,

a soma dos volumes de transações de automóveis, turismo e bens de consumo (lojas virtuais e leilões para pessoa física), atingiu, em 2005, R\$9,9 bilhões – valor 32% maior do que o movimentado no ano passado, que foi de R\$7,5 bi, e correspondente a 3,43% do varejo total no país – dados estimados a partir do índice-base do IBGE.<sup>3</sup>

Hoje, no Brasil, também já se dispõe desse canal para vários serviços, sem mencionar as facilidades precursoras da área bancária, agora passando pelo comércio eletrônico, tanto para varejo quanto para atacado, leilões eletrônicos, serviços pós-venda, serviços de avaliação de fornecedores. Mesmo órgãos governamentais como os ministérios já disponibilizam os serviços ao cliente via rede eletrônica e Internet. Essa é, portanto, uma realidade à qual o Planejamento e Controle da Produção, com sua vasta gama de atividades, deverá ser incorporado, cada vez mais intensamente.

## 13.6 REVISÃO DOS CONCEITOS

Planejar a produção de serviços é diferente de planejar a produção na manufatura. Para o planejamento da produção de serviços é preciso ter em mente as dimensões específicas e inerentes aos serviços, que são a intangibilidade, o consumo concomitante à produção e a participação ativa do cliente no processo produtivo.

No setor de serviços, também se percebe a premência de um bom sistema de previsão que oriente o dimensionamento da área de operações com vistas à manutenção da qualidade dos serviços prestados.

O capítulo foi estruturado de modo a encadear os seguintes temas: evolução na aplicação dos serviços; estratégias competitivas em serviços; projeto de serviços; gestão da capacidade e serviços; planejamento e controle da produção de serviços; o gerenciamento das filas e o seqüenciamento em serviços. Além disso, foi apresentado o tópico tecnologia como suporte aos serviços.

<sup>3</sup> <http://www.camara-e.net/interna.asp?tipo=1&valor=3505>, site acessado em 01/07/2007.

**PALAVRAS-CHAVE**

Estratégias competitivas em serviços  
Projeto de serviços  
Gestão da capacidade em serviços  
Planejamento e controle da produção de serviços  
O gerenciamento das filas  
Seqüenciamento em serviços  
Tecnologia como suporte aos serviços

**13.7 EXERCÍCIOS**

1. Classifique as operações de serviço segundo a classificação apresentada na Figura 13.4:
  - a) Supermercado
  - b) Universidade
  - c) Igreja
  - d) Clínica estética
  - e) Bancos
  - f) Restaurante popular
2. Como o projeto do serviço pode influenciar o projeto do processo? Exemplifique.
3. Defina o pacote de serviços dos itens da Questão 1, mencionando as instalações de apoio, bens físicos facilitadores, serviços explícitos e serviços implícitos.
4. Quais as principais estratégias de gestão da capacidade em serviços? Dê exemplos da aplicação de cada uma através de serviços que você utiliza no seu cotidiano.
5. O que é a zona de risco de um serviço?
6. Quais as principais funções de um roteiro de serviço? Como este pode contribuir para a gestão de pessoas em serviços?
7. Elabore indicadores de capacidade para os serviços da Questão 1.
8. Por que o gerenciamento das filas é fundamental em serviços? Que estratégias podem ser adotadas nesse gerenciamento?
9. Como o avanço do *e-commerce* pode influenciar as atividades de PCP, especialmente em serviços? Dê exemplos.

---

# Referências

- “CAM: An international comparison”. Special Report 740. *American Machinist*, novembro de 1981.
- “European FMS growth predicted at 40-50% a year” in *The FMS Magazine*, janeiro de 1985.
- “FMS: The drive toward cells”. *Manufacturing Engineering*, agosto de 1985.
- ADAM, E. & EBERT, R. *Administración de la producción y de las operaciones*. 4ª ed. México D.F.: Prentice Hall, 1991.
- Advanced manufacturing equipment in the community. Commission of the European Communities. Communication from the Commission to the Council*, COM (85). Bruxelas, 21 de março de 1985, p. 112-final.
- AKHTER, Syed H. “Strategic planning, hypercompetition, and knowledge management”. *Business Horizons*, v.46, n.1, fevereiro de 2003, p.19-24.
- ALBADVI, Amir; CHAHARSOOGHI, S. Kamal; ESFAHANIPOUR, Akbar. “Decision making in stock trading: An application of {PROMETHEE}”. *European Journal of Operational Research*, v.177, n.2, março de 2007, p.673-683.
- ALBUQUERQUE, Marconi; GOMES, Maria de Lourdes Barreto. “A nova empresa e os fatores impulsores de sua mudança. *Produção & Sociedade*, João Pessoa, v.2, n.4, p. 102-127, 1999.
- ALTER, S.; GINZBERG, M. “Managing uncertainty in MIS implementation.” *Sloan Management Review*, outono de 1978.
- ALVESSON, M. “Organizations, culture and ideology.” *International Journal of Studies Management and Organization*, v.17, p.4-18. 1987.
- ANG, James S. K.; SUM, Chee-Chueng; CHUNG, Wah-Fook. Critical Success Factors in Implementing MRP and Government Assistance: A Singapore Context. *Information & Management*, v.29, p. 63-70, 1995.
- ANTUNES JR, José Antônio Vale. *Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção: uma discussão sobre a possibilidade de verificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- APPLEGATE, Lynda M. “Managing in an Information Age: Transforming the Organization for the 1990s.” In: BASKERVILLE, R.; SMITHSON, S., et al. (Ed.). *Transforming Organizations With Information Technology*. Amsterdã: Elsevier, v.(A-49), 1994. p.15-94
- ARAÚJO, G. M. “O que há de novo nas novas configurações produtivas?” In: *Encontro nacional de engenharia de produção*, 16., Piracicaba, 1996. Anais... Piracicaba: UNIMEP/ABEPRO. 1 CD
- ARMSTRONG, J.S. (ed.). *Principles of Forecasting: a handbook for researchers and practitioners*. Nova York: Kluwer, 2001.
- ARNOLD, J.R.T. *Materials Management*. 3ª ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- ARROW, Kenneth Joseph. *Social Choice and Individual Values*. Londres: JohnWiley and Sons, 1963.
- AZEVEDO, Marilena Coelho de; COSTA, Helder Gomes. “Metodologia para o diagnóstico estratégico”. Conferência Internacional de Ciências Empresariais. Santa Clara, Cuba: Universidad Central Marta Abreu, 2000. 8 p.
- \_\_\_\_\_. “Métodos para avaliação da postura estratégica.” *Caderno de Pesquisas em Administração*, v.8, n.2, p.15. 2001.
- AZOULAY-SCHWARTZ, R.; KRAUS, S.; J., WILKENFELD. “Exploitation vs. exploration: choosing a supplier in an environment of incomplete information”. *Decision Support Systems*, v. 38, n.1 p.1-18, 2004.
- BABAGE, Charles. *The Division of Labor in Organization Structure and Behaviour*. Nova York: J. Litterer Weley, 1969.
- BAHAROUN, Z.; BAPTISTE, P.; CAMPAGNE, J.P.; MOALLA, M. “Production Planning and Scheduling in the Context of Cyclic Delivery Schedules”. *Computer & Industrial Engineering*, v.37, p. 3-7, 1999.
- BAHAROUN, Z.; CAMPAGNE, J.P.; MOALLA, M. “The Overlapping Production Planning: A New Approach of Bounded Capacity Management”. *International Journal Production Economics*, v. 64, p. 21-36, 2000.
- BAILY, P.; FARMER, D.; JESSOP, D.; JONES, D. *Compras – princípios e administração*. São Paulo: Atlas, 2000.
- BAKER, K.R. *Introduction to Sequencing and Scheduling*. 2ª ed. Nova York: Wiley, 1996.

- BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. "Aprendizagem e inovação local: obstáculos e oportunidades da indústria nordestina de confecções". *Estudos Setoriais*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 1999.
- BAPTISTA, R. *Sistema de controle integrado para confecções*. CETIQT2000, Rio de Janeiro, v. 2, n. 4, set/nov 1998.
- BARDEJA, Ayrton Aparecido. *Metodologia para nivelamento da produção com uso de operadores polivalentes em processo repetitivo*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- BATOCHIO A.L.; AGOSTINHO O.L. *A flexibilidade, produtividade e automação como características de sistemas produtivos*; pp. 109-113, mimeo.
- BERA, H.; *Computer aided Scheduling (CAS) and manufacturing*. Segundo seminário sobre sistemas avançados de manufatura. Pereira 1996.
- BERRY, L.; PARASURAMAN, A. *Serviços de marketing: competindo através da qualidade*. São Paulo: Maltese, 1992.
- BESSANT J. *Fifth wave manufacturing*. Drafting book, 1990.
- BIANCO, Mônica de Fátima. *O TQM em empresas líderes: uma discussão sobre organização e gestão*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Departamento de Engenharia de Produção, USP, São Paulo, 1999. 177 p.
- BIANCO, Mônica de Fátima; SALERNO, Mario Sergio. "Como o TQM opera e o que muda nas empresas? Um estudo a partir de empresas líderes no Brasil." *Gestão e Produção*, v.8, n.1, p.56-67, 2001.
- BITRAN, G.R. & TIRUPATI, D. "Hierarchical production planning". In S.C. Graves, 1993.
- BOLJWIN, P. T.; KUMPE, T. "Manufacturing in the 1990's – Productivity, Flexibility and Innovation." *Long Range Planning*, v.23, n.4, p.44-57. 1990.
- BOWERSOX, D.J; CLOSS, D.J. *Logística Empresarial: O Processo de Integração da Cadeia de Suprimentos*. São Paulo: Atlas 2001.
- BRANS, J. P. V., P. H. "A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM." *Management Science*, v.31, p.647-656. 1985.
- BRITO, Rodrigo G.F.A. *Planejamento Programação e Controle da Produção*, IMAM: www.imam.com.br, 2000, São Paulo, SP.
- BRODMAN, Judith G.; JOHNSON, Donna L. "Return of Investment (ROI) from Software Process Improvement as Measured by US Industry." *Software Process – Improvement and Practice*, v.1, n.Pilot, p.35-47. 1995.
- BUFFA, E.; SARIN, R.; *Administración de la producción y de las operaciones.*, México D.F.: Ed. Limusa, 1995.
- BUFFA, E.S.; Miller, J.G. *Production-Inventory Systems: Planning and Control*. 3ª ed. Homewood: Richard D. Irwin, 1979.
- CAMPOS, Vicente Falconi. *Gerenciamento da rotina do dia-a-dia*. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2002.
- CARTER, P. L. *The future of purchasing and supply chain: a five- and ten-year forecast*. Center for Advanced Purchasing Studies. 1998
- CARUANA, Albert; PITT, Leyland. "INTQUAL – an internal measure of service quality and the link between service quality and business performance." *European Journal of Marketing*, v.31, n.7. 1997.
- CARVALHO, Rogério Atem de; COSTA, Helder Gomes. "An expert system for supplier classification." *15th National Conference of the Australian Society of Operations Research*. Queensland, Australia: Australian Society of Operations Research (ASOR).
- \_\_\_\_\_. "A tool for decision making support in the acquiring of materials." *15th National Conference of the Australian Society of Operations Research*. Queensland, Australia: Australian Society of Operations Research (ASOR): 291-299 p. 1999b.
- \_\_\_\_\_. "A web based contract selection tool." *WSEAS Transactions on Computers*, p.291-299. 2005.
- CECCONI, P.; FRANCESCHINI, F.; GALETTO, M. "The conceptual link between measurements, evaluations, preferences and indicators, according to the representational theory." *European Journal of Operational Research*, v.179, n.1, maio de 2007, p.174-185.
- CHANGKONG, Y.; HAIMES, Y. *Multiobjective Decision Making*. Amsterdã: Ed. North Holland, 1983. 235 p.
- CHASE, R.; AQUILANO, N. *Dirección y administración de la producción y de las operaciones*, 6ª ed., Barcelona: Editorial IRWIN, 1995.
- CHASE, R.B.; Aquilano, N.J.; Jacobs, F.R. *Production and Operations Management: manufacturing and services*. 8ª ed. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 1998.
- CHINYIO, E. A.; OLOMOLAIYE, P. O.; CORBETT, P. "Quantification of construction clients' needs through paired comparisons." *Journal of Management Engineering*, v.14, n.1, jan/fev, p.87-92. 1998.
- CHONGA, Vincent K.; RUNDUS, Michael J. "Total quality management, market competition and organizational performance." *The British Accounting Review* v.36 p.155-172. 2004.
- CHRISTOPHER, Martin. *Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento*. São Paulo: Pioneira, 1992.
- COMPANYS PASCUAL, R. *Planificación y programación de la producción*. Barcelona: Ed. Marcombo S.A., 1989.
- CONDORCET, J. A. N. C. *Essai sur la constitution et les fonctions des Assemblées provinciales*. Paris: Academia de Ciências, 1788.
- CORLAT, BENJAMIM. *Automação programável: novas formas e conceitos de organização da produção; Automação, competitividade e trabalho: a experiência internacional*. São Paulo: Edit. Hucitec, 1988.



- CORRIAT, BENJAMIM. *Pensar pelo Avesso*. Rio de Janeiro: Edit. UFRJ/Revan, 1994.
- CORREIA, HENRIQUE L.; GIANESI E.; IRINEU G. N. *Just in time, MRP II, e OPT Um Enfoque Estratégico*. 2ª ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1994.
- CORRÊA, Pedro Seixas. *Proposta de aplicação do método de análise hierárquica (AHP) em pesquisa de avaliação pós-ocupação (APO)*. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão), Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2004. 159 p.
- COSTA NETO, P.L. *Estatística*. 2ª ed., São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- COSTA, Ernani Luiz Carvalho. *Aplicação de modelo para mapeamento de lacunas de percepção no negócio de e-procurement*. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005. 80 p.
- COSTA, H. G. *Auxílio multicritério à decisão: Método AHP*. Rio de Janeiro: Editora Campus/Elsevier, 2006. 115 p. (Coleção ABEPRO).
- COSTA, Helder Gomes. "An multicriteria approach to evaluate consumer satisfaction: a contribution to marketing." *VIII International Conference on Decision Support Systems (ISDSS'05)*. Porto Alegre, RS, Brasil: International Society of Decision Support Systems, 2005. 10 p.
- \_\_\_\_\_. *Auxílio multicritério à decisão: Método AHP*. Rio de Janeiro, Brasil: Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), 2006. 115 p.
- COSTA, Helder Gomes; MANSUR, André Fernando Uébe; FREITAS, André Luís Policani; CARVALHO, Rogério Atem de. Electre Tri aplicado a avaliação da satisfação de consumidores. *Produção*, v.17, n.2, maio/agosto 2007, p.1-16.
- COSTA, Helder Gomes; SOARES, Adriana Costa; OLIVEIRA, Patricia Fernandes de. "Avaliação de transportadoras de materiais perigosos utilizando o método Electre Tri." *Gestão & Produção*, v.11, n.4, p.221-229. 2004.
- DAVID, F. R. . *Strategic Management – Concepts & Cases*. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 525 p.
- DEBREU, G. *Theory of value*. Nova York: Wiley, 1959.
- DEMING, W. Edwards. *Out of the Crisis*. Cambridge, USA: Productivity Press, 1982.
- DENTON, K. *Qualidade em serviços: o atendimento ao cliente como fator de vantagem competitiva*. São Paulo: Makron Books, 1991. p.
- DOMÍNGUEZ MACHUCA, J.A. et. AL. *Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. Madrid: Editorial Mc Graw-Hill, 1995.
- DOOLEY, Kevin J.; FLOR, Richard F. "Perceptions of success and failure in TQM initiative." *Journal of Quality Management*, v.3, n.2, p.157-174. 1998.
- DYER, J. H. ; CHO, D. S.; CHU, W. "Strategic supplier segmentation: the next 'best practice' in supply chain management." *California Management Review*, v.40, n.2, p.57-77. 1998.
- EARL, M. *Information Management Strategy*. Englewood-Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1987. p.
- FAVARETTO, Fábio. *Uma Contribuição ao Processo de Gestão da Produção pelo Uso da Coleta Automática de Dados de Chão de Fábrica*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP-São Carlos), São Carlos, 2001. 235 p.
- FEIGENBAUM, A. V. "Management of quality: the key to the nineties." *Journal for Quality and Participation*, v.13, n.2, p.4-19. 1990.
- FEIGENBAUM, ARMAND V.; *Controle da Qualidade Total, v.1. Gestão e Sistemas*. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora, 1994.
- FIGUEIREDO, KLEBER E, & REIS, H.L.; "A Redução de Desperdícios na Indústria." *Revista de Administração*, São Paulo v.30, n.2, p.39-49, abril/junho 1995.
- FISHBURN, Peter C. *Utility theory for decision making*. Nova York: Wiley, 1970.
- FLEMING, Quantim W., HOPPEHMAN, Joel M, *Earned Value Project Management*. EUA: PMI, 1996.
- FREEMAN, Mark, BEALE, Peter, "Measuring Project Success" in *Project Management Journal*, p. 8 – 17, março de 1992.
- FREIRE, G. *Estudo comparativo de modelos de estoques em ambientes com previsibilidade variável de demanda*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da USP, 2007.
- FREITAS, André Luís Policani; COSTA, Helder Gomes. "Uma abordagem multicritério para avaliação e classificação de serviços." *Gestão e Produção*, v.5, n.3, p.272 –283. 1998.
- GARVARE, R.; ISAKSSON, R. "Sustainable development: extending the scope of business excellence models." *Measuring Business Excellence*, v.5, n.3, p.11-15. 2001.
- GIANESI, Irineu G. N.; CORREIA, Henrique Luiz. "Qualidade e melhoria dos sistemas de serviços." In: (Ed.). *Administração estratégica de serviços*. São Paulo, Brasil: Atlas, 1996. p.195-231.
- GIBSON, P.; GREENHALGH, G.; e KERR R. *Manufacturing Management*, Chapman & Hall, 1995.
- GOLDMAN, Henry H. "The origins and development of quality initiatives in American business." *The TQM Magazine*, v.17, n.3, p.217-226. 2005.
- GOLDRATT, E. M.; COX, J. *The Goal: a process of ongoing improvement*. Nova York: North River Press, 1984.
- GOLDRATT, ELIYAHU. *A Meta*. São Paulo: Educator Editora, 1992.

- GOLDRATT, Eliyahu. *The Goal*. Great Barrington: North River Press, 1992.
- GOMES, L. F. A. M.; SIMÕES, G. C. F.; ALMEIDA, A. T. D. *Tomada de decisão gerencial – enfoque multicritério*. São Paulo: Editora Atlas, 2002. 262 p.
- GRÖNROOS, Christian. *Service management and marketing: managing the moment of truth in service competition*. Toronto, Canadá: Lexington Books, 1990.
- GROOVER, M. P. *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*, Prentice-Hall, 1987.
- GUSMÃO, SERGIO L. DE. *Um modelo conceitual para integração do just in time com a teoria das restrições em pequenas e médias empresas industriais*. Dissertação de pós-graduação em Administração de Empresas – UFRGS, Porto Alegre, 1998.
- GUTIÉRREZ, R. H.; *As origens da produção em massa*, mimeo. Niterói: UFF/TEPP, 1994.
- GUTIÉRREZ, R. H.; *A era da automação industrial*, mimeo. Niterói: UFF/TEPP, 1994
- GUTIÉRREZ, R.H.; *A competitividade no Japão, as pequenas e médias empresas e a tecnologia*, mimeo. Niterói: UFF/TPP, 1995.
- GUTIÉRREZ, R.H.; *A industrialização e os bens de capital*; mimeo. Niterói: UFF/TEPP, 1994.
- HÄGELE, G.; PUKELSHEIM, F. “LLULL’s writings on electoral systems.” *Studio Lulliana*, v.41, p.3-38. 2001.
- HALPIN, Daniel; WOODHEAD, Ronald W. *Construction Management*. Nova York: Wiley, 1998.
- HAMMER, M.; CHAMPY, J. *Reengineering the Corporation: A Manifest for Business Revolution*. Nova York: Harper Collins, 1993.
- HANKE, J.E.; WICHERN, D.W. *Business Forecasting*. 8ª ed., New Jersey: Prentice-Hall, 2005.
- HARMON, ROY L. E PETERSON, LEROY; *Reinventando a fábrica*. Rio de Janeiro: Editora Campus/Elsevier, 1991.
- HAX, A.C.; CANDEA, D. *Production and Inventory Management*. New Jersey: Prentice-Hall, 1984.
- HEIZER, J. e RENDER, B.; *Dirección de la producción. Decisiones tácticas*. 4ª Ed. Madrid: Editorial Prentice Hall, 1997.
- HEIZER, J. e RENDER, B. *Operations Management*. 6ª ed. New Jersey: Prentice Hall. 2000.
- HEIZER, J. e RENDER, R. *Production and Operations Management: Strategic and Tactical Decisions*. Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- HERRERA, William David Morán; COSTA, Helder Gomes. “Contribuições da análise multicritério à determinação do grau de proximidade em arranjos físicos.” *Produto & Produção* 2001.
- HOFSTEDE, G. “Culture and Organizations.” *International Studies of Management & Organization*, v.10, n.4, p.15-41. 1981.
- HOFSTEDE, G.; NEUIJEN, B.; OHAYV, D. D.; SANDERS, G. “Measuring organizational cultures: A qualitative and quantitative study across twenty cases.” *Administrative Science Quarterly*, v.35, p.286-316. 1990.
- HOLSAPPLE, C. W.; WHINSTON, A. B. *Decision support systems: a knowledge based approach*. West Group, 1996.
- HOPP e SPEARMAN. *Factory Physics*. 2ª ed. Nova York: McGraw-Hill, 2000.
- Impact of introduction of NC machine tools on employment in the general machinery and equipment manufacturing sector*. Ministério do Trabalho, Tóquio 1981.
- ISHIKAWA, K. “Quality and standardization: program for economic success.” *Quality Progress*, v.17, n.1, p.16-20. 1984.
- ISO. *ISO 10006, Quality management – Guidelines to quality in project management*, Suíça: International Organization for Standardization, 1997.
- JURAN, Joseph M. “The Quality Trilogy.” *Quality Progress*, v.19, n.8, p.19-25. 1986.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*. Nova York: John Wiley & Sons, 1976. 569 p.
- KIMBALL, R. *The data warehouse toolkit*. Nova York: John Wiley & Sons, 1996.
- KRAJEWSKI, J.; RITZMAN, B. *Operations Management Strategy and Analysis*. 4ª ed. Nova York: Addison-Wesley Publishing Company, 1996.
- KUPFER D. *Padrões de concorrência e competitividade*, mimeo. Rio de Janeiro: IEI/UFRJ, 1991.
- LIKERT, R.A. “Technique for measurement of attitudes.” *Archives of Psychology*, v.140, n.1, p.5-55. 1932.
- LOVE, S.F. *Inventory Control*. Nova York: McGraw-Hill, 1979.
- LUBBEN, RICHARD T. *Just in time: uma estratégia avançada de produção*. 2ª ed. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1989.
- Machine Tool Industry*. Japan Machine Tool Builders’ Association, Tóquio, Setembro de 1982.
- MAKRIDAKIS, S.G.; WHEELWRIGHT, S.C.; HYNDMAN, R.J. *Forecasting: methods and applications*. Nova York: Wiley, 1997.
- MARIOTTO F.L. “O conceito de competitividade da empresa: uma análise crítica.” *Revista de Administração de Empresas*; p. 37-52; abr/jun 1991; São Paulo.
- MEREDITH, J. & GIBBS, T. *Administração de Operações*. México D.F.: Ed. Limusa, 1986.
- MEREDITH, J. R. *The Management of Operations: A Conceptual Emphasis*. John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- MILLER, G.A. “The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information.” *Psychological Review*, v.101, n. 2, p.343-352. 1954.
- MIN, H.; ZHOU, G. “Supply chain modeling: past, present and future.” *Computers & Industrial Engineering* n. 43, p. 231-249. 2000.

- MINTZBERG, H. *Structure in Fives: Designing Effective Organizations*. Prentice-Hall, 1992.
- MISTEREK S. DOOLEY K.J. E ANDERSON J.C. "Productivity as a Performance Measure", *International Journal of Operations & Production Management*, vol 12, n. 1, p. 29-45, 1992.
- MONDEN, Y.; *Sistema Toyota de Produção*. São Paulo: IMAM, 1984
- MONKS, J.; *Administração de Operações*. México D.F.: Ed. Mc Graw Hill, 1991.
- MORTON, T.E.; PENTICO, D.W. *Heuristic Scheduling Systems*. Nova York: Wiley, 1993.
- MOURA, R.A.; *Flexibilidade Total: Homem X Máquina*. São Paulo: IMAM, 1987.
- NAHMIA S. *Production and Operations Analysis*. 3ª ed. Chicago: IRWIN, 1997.
- NARASIMHAN, S. *et. al; Planeación de la producción y control de Inventários*. México: Prentice Hall, 1996.
- NILSSON, Lars; JOHNSON, Michael D.; GUSTAFSSON, Anders. "The impact of quality practices on customer satisfaction and business results: product versus service organizations." *Journal of Quality Management*, v.6, n.1, p.5-27. 2001.
- NOREEN, E.; Smith, D.A.; MACKAY, J.T. *The Theory of Constraints and its Implications for Management Accounting*. Nova York: North River Press, 1995.
- NOVAES, A.G. *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação*. Editora Campos Ltda, Rio de Janeiro, 2004.
- O'BRIEN, James A. *Sistemas de Informação e as Decisões Gerenciais na Era da Internet*. 2ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.
- OHNO, Taiichi. *Toyota Production System: Beyond large scale production*. Cambridge: Productivity Press, 1988.
- OHNO, TAIICHI; *O sistema toyota de produção: além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- PALADINI, J.S.S. *Priorização de indicadores de desempenho empresarial baseados na satisfação do cliente*. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Produção), Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2002. 160 p.
- PARASURAMAN, A.; ZEITHAML, V. A.; BERRY, L. L. *Delivering quality service: Balancing customer perception and expectations*. Nova York: The Free Press, 1990.
- PARASURAMAN, A.; ZEITHAML, Valerie A.; BERRY, Leonard L. "A conceptual model of service quality and its implications for future research." *Journal of Marketing*, v. 49, p.41-50. 1985.
- PARDUCCI, G.A. "Category judgement: a range-frequency model." *Psychological Review*, v.72, n. 3, p.407-418. 1965.
- PATRIK EKLUND, Agnieszka Rusinowska; DE SWART, Harrie. "Consensus reaching in committees." *European Journal of Operational Research*, v.178, n. 1, abril de 2007, p.185-193.
- PEDROZO, Ivonete Foletto. *Gerenciamento da rotina na administração pública – um estudo de caso na Secretaria de Município das Finanças da Prefeitura Municipal de Santa Maria*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Departamento de Engenharia de Produção, UFSM, Santa Maria, Brasil, 2001.
- PINE II, B. J.; *Personalizando Produtos e Serviços: Customização Maciça – a nova fronteira da competição nos negócios*. São Paulo: Makron Books, 1994.
- PINEDO, M.L. *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. Primavera, 2005.
- PIRES, S.R.I. *Gestão da Cadeia de Suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos*. Editora Atlas, 2004.
- POIRIER, Charles C.; REITER, Stephen E. *Supply chain optimization: building the strongest total business network*. San Francisco: Berret-Koehler Publishers, 1996.
- PORTER, M.; VAN DER LINDE, C. "Green and competitive: ending the stalemate." *Harvard Business Review*, setembro-outubro 1995.
- PORTER, Michael E. *Competitive advantage of nations*. Nova York: Free Press, 1985.
- PORTER, Michael. *Competitive advantage*. Nova York: Free Press, 1985.
- PRAHINSK, C.; BENTON, W.C. "Supplier evaluations: communication strategies to improve supplier performance." *Journal of Operations Management*, v.22, p.39-62. 2004.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, *The Project Management Framework*, PMI, Estados Unidos, 1996.
- PTAK, C. "MRP, MRP II, OPT, JIT and CIM: Succession, Evolution, or Necessary Combination". *Production and Inventory Management Journal*, v. 32, n. 2, p. 7-11, 1991.
- PUTNIK G.; SILVA, S. C. "One-Product-Integrated-Manufacturing" In: L. M. Camarinha-Matos (Ed.) *Balanced Automation Systems I*, Chapman & Hall, 1995.
- RAJAKUMAR, T. M. "E-Procurement: Business and technical issues." *Information Systems Management* v.18, n. 4, p.52-60 2001.
- REED, Richard; LEMAK, David J.; MERO, Neal P. "Total quality management and sustainable competitive advantage." *Journal of Quality Management*, v.5, n.1, p.5-26. 2000.
- REGINATO, Magda Medianeira. *Gerenciamento da rotina e melhoria dos processos numa empresa de serviço de revelação fotográfica*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Departamento de Engenharia de Produção. UFSM, Santa Maria, 1996.
- REGINATO, Magda Medianeira; GODOY, Leoni Penteado; RADHARAMANAN, R. "Gerenciamento da rotina em empresa prestadora de serviços – um estudo de caso." *XVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)/II*

- International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Piracicaba, SP: Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO)/UNIMEP, 1996. 8 p.
- RENDER, Barry; HEIZER, Jay. *Principles of operations management*. Nova York: Prentice Hall Inc., 2004.
- RINNOOY KAN A.H.G.; ZIPKIN, P.H. (eds.), *Logistics of Production and Inventory*. V.4, Cap. 10. Amsterdã: North-Holland.
- RODRIGUES, LUIS HENRIQUE. “Análise crítica da Teoria da Produção Otimizada (OPT) e da Teoria das Restrições (TOC).” *Anais do XIV Encontro Anual da Associação Nacional dos Programas de Pós-graduação em Administração (ANPAD)*, Florianópolis, Santa Catarina, 1990.
- ROGERS, M.; BRUEN, M.; MAYSTRE, L. *ELECTRE and decision support: methods and applications in engineering and infrastructure investment*. Nova York: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- ROY, B. & BOYSSOU, D. *Méthodologie Multicritère d’Aide à la Décision*. Paris: Ed. Economica, 1985.
- ROY, B. *Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode Electre)*. Lausanne Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1968.
- ROY, B.; BOYSSOU, D. *Méthodologie Multicritère d’Aide à la Décision*. Paris: Ed. Economica, 1985.
- RUSSELL, R. & TAYLOR, B. *Operations Management. Focusing on quality and competitiveness*. 2a ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- RUSSELL, R.S.; TAYLOR, B.W. *Operations Management: Quality and Competitiveness in a Global Environment*. 5ª ed., Nova York: Wiley, 2006.
- SAATY, T. L. “A scaling method for priorities in hierarchical structures.” *Journal of Mathematical Psychology*, v.15, n.3, p.234-281. 1977.
- \_\_\_\_\_. *The Analytic Hierarquic Process*. New York, USA: McGraw-Hill International, 1980.
- SANTOS, Ademar de Araújo. *Informática na Empresa*. 4ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2006.
- SCHEER, W.; ABOLHASSAN, F.; JOST, W., KIRCHMER, M. *Business Process Excellence*. Editora Springer, 2002.
- SCHONBERGER, Richard J. “Just in time production systems: Replacing complexity with simplicity in manufacturing management” *in Industrial Engineering*, outubro de 1984, p. 52-63.
- SCHROEDER, R. *Administración de operaciones, toma de decisiones en la función de operaciones*, 3ª. Ed. México: Editorial McGraw Hill, 1992.
- SEBRAE. *Indicadores de competitividade para micro e pequenas empresas industriais no Brasil*, Brasília: Edição SEBRAE, 1993.
- SHINGO, Shigeo. *O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção*. 2ª ed., Porto Alegre: Bookman Editora, 1996.
- SILVA, Augusto Sérgio Mendes; COSTA, Helder Gomes. “O ciclo de vida de projetos industriais – uma análise crítica da visão do Project Management Institute”. In: *VII SIMPEP (Simpósio de Engenharia de Produção)*, 2001, Bauru. *Anais do VII SIMPEP (Simpósio de Engenharia de Produção)*. Bauru, SP: UNESP, 2001. v. 1. p. 1-8.
- SILVER, Peterson e Pyke. *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*. 3ª ed., Nova York: Wiley, 1998.
- SILVER, Peterson; PYKE. *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*. 3ª ed., Nova York: Wiley, 1998
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. São Paulo: Editora Atlas, 1997.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 2ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- SLACK, NIGEL et al. *Administração da Produção*. São Paulo: Editora Atlas, 1997.
- SOLOMON, Morris I. *Analysis of projects for economic growth*. Nova York: Praeger Special Studies, 1970.
- SPIRO, Herbert T. *Finanças para gerentes não financeiros*. São Paulo: McGraw-Hill, Makron Books, 1990.
- STARR, M.; *Administración de la producción. Sistemas y síntesis*. Madrid: Ed. Dossat S.A., 1979.
- TAKASHINA, N Tadachi, “Indicadores de qualidade e do desempenho – conceitos, definição e gestão de resultados”, *Revista Decidir*, p. 26-28, jun. 1996.
- TAUILE, JOSÉ R.; *Automação microeletrônica e competitividade: Tendências no cenário Internacional*. IEI/FEA,
- TIRONI, Luis Fernando, et al. *Crîtérios para geração de indicadores de qualidade e produtividade no serviço público*. Rio de Janeiro: IPEA, out.1991. 16 p.
- TIRONI, Luis Fernando, et al. *Indicadores da qualidade e produtividade – um relato de experiências no setor público*. Brasília: IPEA, jun.1992. 24 p.
- TIRONI, Luis Fernando. “Indicadores da Qualidade e Produtividade: Conceitos e Usos.” *Revista Indicadores da Qualidade e Produtividade*. IPEA. p. 7 – 17, fev. 1993.
- VARGAS, L. G. “An overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications.” *European Journal of Operational Research*, v.28, p.2-8. 1990.
- VERNA, Vijay K. *The human aspects of project management, PMI*, Estados Unidos, 1995.
- VINCKE, P. *L’aide Multicritère à la Decision*. Bruxeles: Editions de l’Université de Bruxelles – Editions Ellipses, 1989.
- VOLLMANN, T.E.; BERRY, W.L.; WHYBARK, D.C. *Manufacturing Planning and Control Systems*. 4ª ed. Nova York: McGraw-Hill, 1997.

- WANT, Roy – RFID: “A Key to Automating Everything”, *Scientific American*, p. 56-65, janeiro, 2004.
- WOMACK, JAMES P. *et al.*; *A máquina que mudou o mundo*. Rio de Janeiro: Editora Campus/Elsevier, 1992.
- YU, P. L. “A class of solutions for group decision problems.” *Management Science*, v.19, p.936-946. 1973.
- ZACHARY, W., RICHMAN, E. “Building an Operations Management Foundation That Will Last: TQM, JIT and CIM.” *Industrial Engineering*, v. 25, p. 39-43, 1993.
- ZAGO, José Sebastião. *Fabricação de carroçaria bruta: definição do grau de automação a partir de análise multicritérios*. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão), Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2006. 103 p.
- ZELENY, M. *Multiple Criteria Decision Making*. Nova York: McGraw-Hill, 1982.
- ZIONTS, Stanley. *Multiple criteria problem solving*. Berlim: Springer-Verlag, 1978. 481 p.
- ZONENSCHNEIN, Mário. *Indicadores da gestão rumo à excelência – critérios do PNQ*. Rio de Janeiro: (Apostila – Curso Petrobras), 1999. 75 p.
- ZULTNER, Richard E. “TQM for technical teams.” *Communications of the ACM*, v.36, n.10, outubro 1993, p.79-91.