

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CARLOS ALBERTO TOCHA

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA O
SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO

CURITIBA
2014

CARLOS ALBERTO TOCHA

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA O
SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do grau de Mestre em Engenharia da Produção, no Curso de Pós-graduação em Engenharia da Produção, Área de concentração: Pesquisa Operacional, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Arinei Carlos Lindbeck da Silva

CURITIBA
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

TERMO DE APROVAÇÃO

CARLOS ALBERTO TOCHA

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA O SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-graduação em Engenharia da Produção, Área de concentração: Pesquisa Operacional, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Arinei Carlos Lindbeck da Silva
Orientador – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção da UFPR

Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin Junior
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da
UFPR

Prof. Dr. Lauro Cesar Galvão
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Curitiba, 28 de fevereiro de 2014.

Dedico este trabalho à minha querida esposa Ariete pela compreensão e aos meus filhos Carlos e Miguel que enchem de alegria os meus dias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por me dar saúde e força.

À Ariete minha esposa e meus filhos, pelo carinho e dedicação.

Ao meu orientador Arinei Carlos L. da Silva pelo apoio, paciência, orientação e amizade, além de nossas conversas regadas a muito café.

A banca examinadora.

Aos demais professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da UFPR, pela dedicação e compreensão.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

À Força Aérea Brasileira, representada pelo Coronel Aviador Luiz Ricardo de Souza Nascimento, pela flexibilidade de horário.

Aos colegas de mestrado, pelo grupo de estudos que formamos.

Faça o que for necessário para ser feliz.

Mas não se esqueça que a felicidade é um sentimento simples.

Você pode encontrá-la e deixá-la ir embora por não perceber a sua simplicidade.

(Mário Quintana)

RESUMO

Atualmente observa-se uma grande competitividade entre empresas e para ser competitiva é necessário ter condições de reagir rapidamente às mudanças (flexibilidade), tais como: atender prazos de entrega, alterar o processo de produção, diminuir custos de produção sem perder a qualidade e ter capacidade de inovações dos seus produtos e no processo produtivo. Estas são funções que estão diretamente ou indiretamente ligadas às atividades de Planejamento e Controle da Produção (PCP). O PCP exerce atividades a nível estratégico, tático e operacional, sendo que no nível operacional encontra-se o “coração” das organizações de manufatura, a Programação da Produção (PP), na qual uma de suas funções é o sequenciamento da produção. Este é um assunto abordado nos cursos de engenharia da produção, porém, em sua maioria, os graduados em Engenharia de Produção, nem sempre possuem uma visão amplificada da complexidade do sequenciamento de lotes de produção dentro do Problema de Programação da Produção. Desta forma, o presente trabalho objetiva apresentar o desenvolvimento de ferramentas computacionais voltadas para o sequenciamento de lotes de produção, fixando os conhecimentos obtidos na teoria e desobscurecendo essa complexidade. Para alcançar tal objetivo fez-se necessário uma revisão bibliográfica sobre o sequenciamento de lotes da produção, a identificação de trabalhos desenvolvidos, que se relacionam com o tema, bem como os métodos mais utilizados, algoritmos, algumas regras de prioridade e suas definições, restrições pertinentes ao problema e a resolução deste problema. Verifica-se que a disponibilidade de *softwares* utilizados para este fim é pequena. Neste contexto, foi desenvolvida uma ferramenta para o problema de sequenciamento de N tarefas em uma única máquina e a outra para o problema de N tarefas a serem sequenciadas em duas ou três máquinas. As interfaces que são apresentadas ao usuário são simples a fim de facilitar o uso das ferramentas e os gráficos gerados são apresentados de maneira didática visando facilitar a visualização do sequenciamento das tarefas, em conformidade ao método selecionado, de forma a permitir que o usuário possa analisar o desempenho do método escolhido. Vários testes foram realizados com exemplos aleatórios e teóricos, com o objetivo de analisar se os resultados são apresentados de forma clara e coerente. Por meio dos testes realizados, observou-se que as ferramentas desenvolvidas obtiveram respostas positivas e ainda se mostraram de fácil utilização para resolução de pequenos problemas que auxiliam no processo de ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: Programação da produção. Sequenciamento. Sequenciamento de lotes. Ferramenta computacional. *Software*.

ABSTRACT

Presently, a great competitive edge can be observed among companies. To obtain this edge, a company must attend certain conditions in order to quickly respond to change (be flexible), such as: appropriately meeting deadlines, altering the production process when needed, reducing production costs without reducing the output quality and innovating in terms of products and processes. These conditions are directly connected to Production Planning and Control (PPC). The PPC develops activities in strategic, tactical and operational levels, being the operational level, the “heart” of manufacturing industries. Production Programming belongs to this level and one of its functions is production sequencing. This subject is part of Production Engineering courses; however, not always graduates possess an open view on how complex sequencing production lots in Production Programming problems can be. With that in sight, the present work objectifies to develop computational tools focused on production lots sequencing, fastening theoretical knowledge and decreasing its complexity. In order to achieve this goal, a bibliographical review on production lots sequencing was necessary, as well as indentifying the most common methods, algorithms, priority rules and the solution to this problem. Through this review, it was perceived that the availability of softwares focused on teaching and learning is limited. In this context, two tools were developed. The first one to solve the problem of sequencing N tasks in one machine and the second one to solve the problem of N tasks to be sequenced in two or three machines. The interfaces that are presented to the user are simple in order to simplify the use of the tools. The graphs generated are presented didactically to facilitate the visualization of tasks sequencing, aligned with the selected method, in order to allow that the user analyses the efficiency of the selected method. Various tests were fulfilled with random and theoretical examples, to visualize if the results are presented clearly and coherently. Through these tests, it was observed that the tools achieved positive results and showed easy application to solve small problems that help in the teaching-learning process.

Key-words: Production Programming. Sequencing. Lots Sequencing. Computational Tool. Software.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – HIERARQUIA DAS FUNÇÕES DO PCP	23
FIGURA 2 – HIERAQUIA DAS FUNÇÕES DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	25
FIGURA 3 – PROCESSO DE MODELAGEM	29
FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DO ADDOIP	34
FIGURA 5 – DECISÕES NO SEQUENCIAMENTO DOS PROCESSOS.....	44
FIGURA 6 – O SEQUENCIAMENTO E A FORMAÇÃO DO <i>LEAD TIME</i>	45
FIGURA 7 – EXEMPLO DO SEQUENCIAMENTO EM UMA MÁQUINA	47
FIGURA 8 – EXEMPLO DE MÁQUINAS PARALELAS.....	50
FIGURA 9 - EXEMPLO DO PROBLEMA DE JOB SHOP	52
FIGURA 10 - EXEMPLO DO PROBLEMA DE FLOW SHOP.....	54
FIGURA 11 DINÂMICA DO LSSP_PCP	58
FIGURA 12 - MENU INICIAL DO LEKIN®	59
FIGURA 13 - TELA DO LEKIN FLEXIBLE JOB SHOP SCHEDULING SYSTEM	60
FIGURA 14 – EXEMPLO DE INTERFACE DO PREACTOR	61
FIGURA 15 – FLUXOGRAMA QUE ILUSTRA O <i>SHIFTING BOTTLENECK</i>	63
FIGURA 16: FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO MSM.....	64
FIGURA 17 – VISUALIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES.....	65
FIGURA 18 – GRÁFICO DE GANTT GERADO A PARTIR DE UMA SOLUÇÃO GRASP.....	65
FIGURA 19 – INTERFACE DO PROGRAMA PARA O SEQUENCIAMENTO DE UMA MÁQUINA COM AS SUAS RESPECTIVAS ÁREAS IDENTIFICADAS.....	71
FIGURA 20 – INTERFACE COM AS OPÇÕES DO MENU DADOS.....	73
FIGURA 21 – EXEMPLO DE ARQUIVO NO BLOCO DE NOTAS	74
FIGURA 22 – INTERFACE INDICANDO A SEGUNDA OPÇÃO DO MENU.....	75
FIGURA 23- INTERFACE COM AS TAREFAS GERADAS ALEATORIAMENTE.....	75
FIGURA 24 – MATRIZ SETUP.....	76
FIGURA 25 – FORMULÁRIO COM OS DADOS DAS TAREFAS GERADAS.....	77
FIGURA 26 – TIPOS DE MÉTODOS DISPONÍVEIS	77
FIGURA 27 – SEQUENCIAMENTO DAS TAREFAS APÓS O PROCESSAMENTO USANDO O	78

FIGURA 28 - SEQUENCIAMENTO DAS TAREFAS APÓS O PROCESSAMENTO USANDO O	79
FIGURA 29 - SEQUENCIAMENTO DAS TAREFAS APÓS O PROCESSAMENTO USANDO O	80
FIGURA 30 - SEQUENCIAMENTO DAS TAREFAS APÓS O PROCESSAMENTO USANDO O	80
FIGURA 31 – INTERFACE INICIAL DO PROGRAMA.....	82
FIGURA 32 – OPÇÕES DO MENU VELOCIDADE.....	83
FIGURA 33 – OPÇÕES DO MENU NUM MÁQUINAS	83
FIGURA 34 – FUNÇÕES DO MENU OPÇÕES	84
FIGURA 35 – SEQUÊNCIA A SEREM INSERIDOS OS DADOS NO ARQUIVO	85
FIGURA 36 – SEQUENCIAMENTO DE SETE TAREFAS EM DUAS MÁQUINAS...	86
FIGURA 37 – SEQUENCIAMENTO DE DEZ TAREFAS EM DUAS MÁQUINAS	87
FIGURA 38 – SEQUENCIAMENTO DE VINTE TAREFAS EM DUAS MÁQUINAS..	88
FIGURA 39 – SEQUENCIAMENTO DE CINCO TAREFAS EM TRÊS MÁQUINAS .	90
FIGURA 40 – SEQUENCIAMENTO DE DEZ TAREFAS EM TRÊS MÁQUINAS	91
FIGURA 41 – SEQUENCIAMENTO DE VINTE TAREFAS EM TRES MÁQUINAS ..	91

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CÁLCULO DAS POSSIBILIDADES DE SEQUENCIAR 20 TAREFAS A SEREM PROCESSADAS EM UMA MÁQUINA.	48
TABELA 2 – CÁLCULOS DAS POSSIBILIDADES DE SEQUENCIAR 20 TAREFAS EM 3 MÁQUINAS.....	53
TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	68
TABELA 4 – DADOS INICIAIS PARA O SEQUENCIAMENTO.....	101
TABELA 5 – APLICAÇÃO DE REGRA PEPS.....	102
TABELA 6 – APLICAÇÃO DA REGRA MTP.....	103
TABELA 7 – APLICAÇÃO DA REGRA MDE.....	104
TABELA 8 – DADOS INICIAIS.....	106
TABELA 9 – TAREFAS SEQUENCIADAS POR MDE.....	106
TABELA 10 – TAREFAS SEQUENCIADAS POR MDE.....	107
TABELA 11 – SEQUÊNCIA DEPOIS DE DESCARTADA A TAREFA E.....	107
TABELA 12 - SEQUÊNCIA DEPOIS DE DESCARTADA A TAREFA B.....	107
TABELA 13 – DADOS INICIAIS.....	108
TABELA 14 - DADOS INICIAIS EM ORDEM DECRESCENTE DE TP.....	108
TABELA 15 – SETE TAREFAS A SEREM SEQUENCIADAS EM DUAS MÁQUINAS	109

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – SÍNTESE DA ABORDAGEM E MÉTODOS DESENVOLVIDOS	33
QUADRO 2 – REGRAS DE PRIORIDADE	37
QUADRO 3 – ALGORITMO DE MOORE.....	49
QUADRO 4 – ALGORITMO LPT.....	51
QUADRO 5 – ALGORITMO DE JOHNSON.....	55
QUADRO 6 – COMPARATIVO ENTRE AS REGRAS	105

LISTA DE SIGLAS

ACP	Acompanhamento e Controle da Produção
ADDOIP	Algoritmo de Determinação de Datas Ótimas de Início de Processamento
APS	<i>Advanced Planning Scheduling System</i> (Sistema de Programação Avançada)
CD	Critérios de Desempenho
GRASP	<i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i> (Procedimento de busca adaptativa gulosa e randomizada)
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
ILS	<i>Itered Local search</i> (Busca Local Iterativa)
LSSP	Laboratório de Simulação de Sistemas de Produção
MSM	Módulo de Sequenciamento de Máquina
OPT	<i>Optimized Production Technology</i> (Tecnologia de Produção Otimizada)
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PMP	Planejamento Mestre da Produção
PO	Pesquisa Operacional
PP	Programação da Produção
PPP	Problema da Programação da Produção
RD	Regras de Despacho
RP	Regras de Prioridade
SGI	Sistema de Gestão Integrado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO GERAL.....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.3 JUSTIFICATIVA	19
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 O PROBLEMA DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO (PPP)	26
2.2 MODELO PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO (PPP)	28
2.3 PROCESSO DE MODELAGEM.....	28
2.4 PROCESSO DE SIMULAÇÃO	30
2.5 MÉTODOS PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	31
2.6 REGRAS DE PRIORIDADE	35
2.7 PROBLEMA DE BALANCEAMENTO.....	39
2.8 PROBLEMA DE DIMENSIONAMENTO DE LOTES DE PRODUÇÃO... 40	
2.9 O PROBLEMA DO SEQUENCIAMENTO	41
2.10 SEQUENCIAMENTO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO EM LOTES	42
2.11 O PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO EM UMA MÁQUINA (<i>SINGLE MACHINE SHOP</i>)	46
2.12 MÁQUINAS PARALELAS	50
2.13 SISTEMA <i>JOB SHOP</i>	51
2.14 SISTEMA <i>FLOW SHOP</i>	54
2.15 <i>SOFTWARES</i> VOLTADOS PARA O PCP, PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO E OTIMIZAÇÃO	56

3	MÉTODO DE PESQUISA.....	67
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	67
4	FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA AUXÍLIO NO ENSINO SOBRE SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO	70
4.1	PROBLEMA DE N TAREFAS A SEREM SEQUENCIADAS EM UMA ÚNICA MÁQUINA	70
4.2	PROBLEMA DE N TAREFAS A SEREM SEQUENCIADAS EM DUAS MÁQUINAS	81
4.3	PROBLEMA DE N TAREFAS A SEREM SEQUENCIADAS EM TRÊS MÁQUINAS	89
5	CONCLUSÕES	93
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	94
6	APÊNDICE	101

1. INTRODUÇÃO

Com a globalização e a presença de grandes grupos nacionais e internacionais no mercado atual, percebe-se uma dinâmica altamente competitiva, sendo necessário buscar um melhor aproveitamento de seus recursos para obtenção de uma redução de custos. Essa competitividade gera uma necessidade contínua a procura de melhores desempenhos computacionais a fim de possibilitar a otimização dos processos produtivos. Neste contexto, a área do Planejamento e Controle da Produção (PCP) exerce papel fundamental no processo de melhoria (TOSO; MORABITO, 2005).

Para que se mantenham competitivas no mercado as empresas necessitam de processos mais flexíveis, que incluam as necessidades e exigências dos clientes. Portanto, quanto maior for a flexibilidade do processo produtivo maior será a agilidade desta empresa, porém a programação da produção será mais complexa. (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001)

Observa-se que, para atender a estas necessidades, faz-se necessário dispor de uma precisa e eficiente programação, com um otimizado balanceamento e sequenciamento da produção. Portanto torna-se importante o desenvolvimento de ferramentas computacionais para simular os processos produtivos de forma ágil.

Pastor (2002) define balanceamento como a distribuição de tarefas em estações de trabalho, de tal modo que, o tempo de realização de cada tarefa seja uniforme.

Slack, Johnston e Chambers (2009) definem o sequenciamento como uma atividade que determina a ordem em que as tarefas deverão ser executadas. É o momento em que cada tarefa ou produto deve entrar no ciclo de produção.

Em conformidade com Stoop e Wiers (1996), as atividades de pesquisa no âmbito da programação da produção apontam os exercícios acadêmicos como o início para a resolução de problemas reais, porém as implementações das técnicas de programação bem sucedidas, na prática, ainda são escassas.

Silva e Tubino (2012) fazem uma análise sobre as tendências de pesquisa voltadas para as linhas de montagem e identificam uma grande concentração de estudos focados no balanceamento e sequenciamento por meio de modelagem

matemática e simulação. Há um grande desafio em traduzir para os modelos os aspectos reais do funcionamento e as configurações destas linhas, para obtenção de bons resultados em termos de balanceamento e sequenciamento.

A rápida expansão do mercado comercial suscitou em um aumento na produção de produtos distintos, tornando-se então necessária a qualificação e habilitação profissional para atender a esta demanda de mercado. Vale ressaltar que é este o cenário que o aluno do curso de Engenharia de Produção irá se deparar em sua carreira profissional.

A graduação em Engenharia de Produção tem como obrigatoriedade curricular o cumprimento de estágios supervisionados em empresas. Durante este período, o aluno encontra diferentes situações nas quais observa que algumas melhorias podem ser realizadas. No entanto, para que essas ideias se efetivem é necessário uma ferramenta que auxilie na tomada de decisão. (CARDOSO, 2007)

Para que se realize o estudo sobre sequenciamento da produção, faz-se necessário o conhecimento de diferentes métodos e heurísticas aplicadas ao problema de sequenciamento. O desenvolvimento de uma ferramenta computacional de simples utilização pode auxiliar o aluno no processo de ensino aprendizagem destas heurísticas, de forma que o aluno possa aprofundar os conhecimentos e fixar os conteúdos de sequenciamento da produção em lotes. Ressalte-se que com essas ferramentas os alunos do curso de Engenharia da Produção, contarão não somente com o aperfeiçoamento no processo de ensino aprendizagem, como também estarão capacitados para o enfrentamento das diversidades que se fazem constantes no mundo empresarial.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver duas ferramentas computacionais que sejam didáticas e voltadas para o sequenciamento de lotes de produção em até três máquinas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, fez-se necessário cumprir os objetivos específicos, descritos abaixo:

1. Pesquisar os métodos e as regras heurísticas mais utilizadas no problema de sequenciamento de lotes de produção;
2. Implementar computacionalmente as regras heurísticas mais utilizadas;
3. Realizar testes com exemplos teóricos e aleatórios para analisar o desempenho da ferramenta desenvolvida.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo Senge (1994), os processos produtivos estão mais complexos, mas devem ser dinâmicos para que as empresas permaneçam competitivas. Este panorama faz com que os profissionais busquem uma constante atualização, a fim de atender às necessidades das empresas.

É considerada primordial, pelo mundo empresarial, a redução de custos para que seja mantida a competitividade no mercado. Conforme esta necessidade, o desenvolvimento de novas ferramentas torna-se importante para facilitar as tomadas de decisão no âmbito do Planejamento e Controle da Produção (PCP), especificadamente dentro da Programação da Produção, o sequenciamento de lotes. Para Stoop e Wiers (1996), a implementação de novas técnicas releve-se como meios de melhorar a programação.

Deve-se atentar para a importância de laboratórios preparados e equipados para a real desenvoltura de atividades práticas, tanto nos Cursos de Graduação, quanto de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Releva-se que os mesmos disponham de laboratórios informatizados e preparados com *softwares*, voltados à programação da produção. Configuram-se desta forma, em ambientes de incentivo ao aprendizado por meio de simulação de atividades práticas através do uso de *softwares*. Estes exercícios de simulação, realizados nos laboratórios, objetivam a consolidação dos conhecimentos teóricos adquiridos, a fim de aproximar os ensinamentos acadêmicos às necessidades das empresas atuais. (FAÉ; ERHART, 2009)

Neste contexto, existem alguns *softwares* comerciais de otimização disponíveis no mercado, porém para a utilização destes, o usuário deve ter um prévio conhecimento sobre seu funcionamento, dentre eles a correta modelagem matemática e a inserção de dados no *software*.

Dentre eles destaque-se os seguintes *softwares*: Lindo e o Lingo da Lindo Systems, GLPK da GNU, o CPLEX da ILOG-IBM, Gurobi, OPT (*Optimized Production Technology* – Tecnologia de Produção Otimizada), Preactor da empresa inglesa *The CIMulation Centre*, Legin, o *software* Arena, entre outros. Todos eles configuram um alto custo de aquisição da licença para utilização. Alguns deles apresentam versões acadêmicas, como o Lindo, Arena e Preactor, porém suas funções são limitadas.

Segundo Kawamura (2011), os programadores de produção da atualidade não utilizam sistemas, para facilitar a tomada de decisão, que possibilitem otimizar ou simular possíveis situações no âmbito da programação da produção que avaliem simultaneamente os custos de produção, de armazenagem e de não atendimento aos pedidos no prazo.

Justifica-se o trabalho e a necessidade de seu desenvolvimento devido à escassez e ao alto custo de licenças para aquisição de *softwares* voltados ao sequenciamento de lotes de produção. Pretende-se configurar, esta ferramenta computacional, para auxiliar na ágil tomada de decisão, que consequentemente resultará no aumento da capacidade produtiva do funcionário, que ao fazer simulações de problemas reais de programação, terá instrumentos suficientes para uma tomada de decisão eficaz que vincula o aprendizado acadêmico às necessidades de uma empresa.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em 5 capítulos. O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica. Nesta revisão foram estudados e ressaltados os seguintes aspectos: o Problema da Programação da Produção (PPP), o modelo para a resolução do PPP, o processo de modelagem, o processo de simulação, os métodos para a resolução do PPP, as regras de prioridade, o problema de balanceamento, o problema de dimensionamento de lotes de produção, o problema de sequenciamento, o sequenciamento de sistema de produção em lotes, o problema de sequenciamento em uma única máquina, máquinas paralelas, o sistema *job shop*, o sistema *flow shop* e alguns *softwares* voltados para a programação da produção.

O capítulo 3 destina-se à caracterização e desenvolvimento da pesquisa atentando-se ao projeto da dissertação.

No capítulo 4 apresenta-se o funcionamento das ferramentas computacionais para o auxílio no ensino sobre sequenciamento da produção que foram desenvolvidas.

No capítulo 5 configuram-se as considerações sobre ferramentas desenvolvidas para auxiliar no ensino sobre sequenciamento da produção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As empresas estão inseridas em um ambiente de acirrada competição. Devido a este fato, tornou-se uma necessidade mercadológica, um avanço tecnológico para obtenção de melhorias nos processos produtivos. Esse avanço configura-se importante para um pleno atendimento das expectativas e necessidades do cliente.

Segundo Lustosa *et. al.* (2008) esta busca por excelência relaciona-se com três funções do PCP: o planejamento, a programação e o controle da produção.

Conforme expressa o autor, estas funções são essenciais para a sobrevivência da empresa:

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 (LUSTOSA *et al.*, 2008)

Envolvidas por este cenário as empresas buscam, incansavelmente, minimizar os custos de produção, visando a redução do *lead time* de entrega, maximização do aproveitamento da mão-de-obra, bem como o trabalho realizado pelas máquinas. Frise-se a relevância no tangente às necessidades trazidas pelo chão de fábrica, quando da necessidade de uma efetiva programação da produção (TUBINO, 2009). É no âmbito da Programação da Produção (PP) que se encontram os problemas relacionados ao sequenciamento da produção.

A área que fornece ferramentas para o auxílio na tomada de decisão do planejamento de produção (PP) refere-se a Pesquisa Operacional (PO), que caracteriza-se como uma das grandes áreas de Engenharia de Produção (MORAIS, 2008).

O termo Pesquisa Operacional deriva do inglês *Operational Research*, que era utilizado durante as atividades militares na Segunda Guerra Mundial, no sentido de alocar rápido e eficientemente os recursos para as diversas operações militares. Além de ser chamada de ciência e tecnologia de decisão, também destaca-se caracterizando-se para o campo da “arte”, por desprender criatividade e experiência do profissional de Pesquisa Operacional para o então sucesso nas fases que

precedem e sucedem a solução do modelo matemático constante da ciência. (ARENALES, *et al.*, 2007)

No sentido de organizar o fluxo de dados, os recursos produtivos, o controle da produção e o auxílio nas tomadas de decisões, o Planejamento e Controle da Produção (PCP) possui papel fundamental. Para Tubino (2009), o PCP é uma ferramenta imprescindível às organizações porque o seu objetivo é desenvolver os planos que irão orientar e controlar a produção.

O PCP é responsável por diversas informações vindas das diversas áreas de um processo produtivo.

Conforme pode-se verificar uma hierarquia (FIGURA 1) apresentada por Tubino:

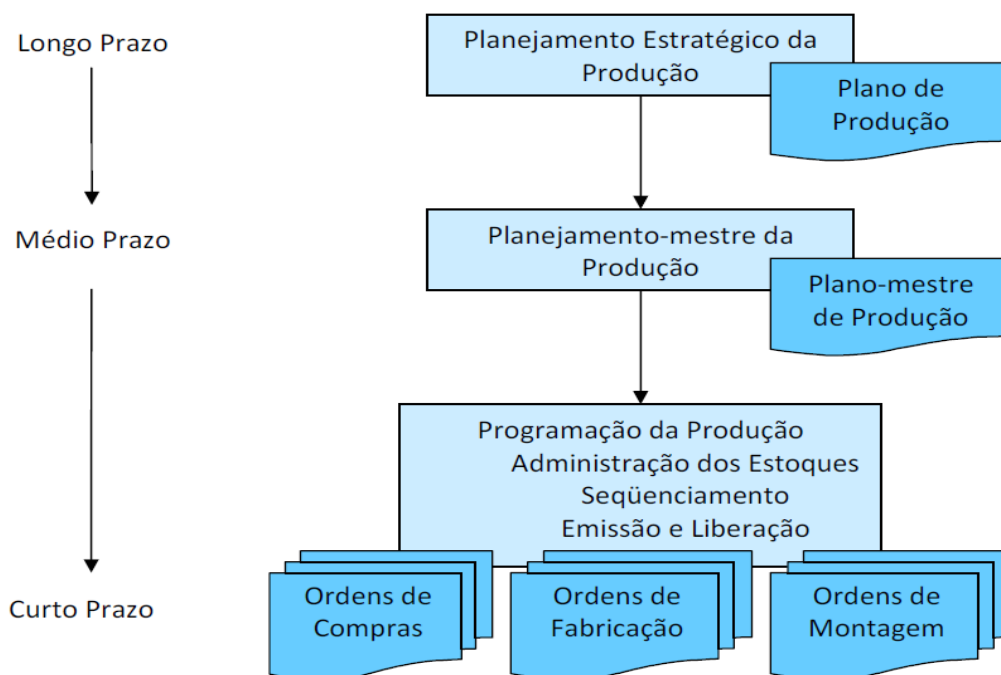


FIGURA 1 – HIERARQUIA DAS FUNÇÕES DO PCP
FONTE: TUBINO (2009)

Os níveis do PCP são divididos em relação aos níveis hierárquicos de planejamento em longo, médio e curto prazo. No longo prazo determina-se o Planejamento Estratégico da Produção, gerando um Plano de Produção. Em médio prazo é desenvolvido o Planejamento-mestre da Produção, obtendo o Plano-mestre da Produção (PMP), já a curto prazo encontra-se a Programação da Produção que

atende ao PMP. O programa da produção é feito em conformidade a um horizonte de planejamento da organização.

Para Arenales *et al.* (2007) pode-se destacar a importância de alguns problemas na área da programação da produção, como os recursos, tarefas ou operações, que configuram, em geral hierarquicamente, em três níveis:

- Nível 1: Estratégico, decisões de longo prazo, trata da escolha e do projeto do processo;
- Nível 2: Tático, decisões de médio prazo, trata do planejamento das atividades;
- Nível 3: Operacional, decisões de curto prazo, programa e controla as atividades diárias das ordens de produção provenientes do nível tático.

As decisões operacionais afetam diretamente as táticas que, por sua vez, têm grande impacto nas decisões estratégicas. Um bom planejamento da produção revela-se fator chave para alcançar uma utilização adequada dos recursos disponíveis.

O PCP engloba as atividades de Planejamento Agregado, Planejamento Mestre da Produção (PMP), Programação da Produção (PP) e Acompanhamento e Controle da Produção (ACP). (MESQUITA *et al.*, 2008)

A programação da produção encontra-se no “coração” do desempenho de organizações de manufatura e, é ainda, um domínio tipicamente humano. (STOOP; WIERS, 1996)

Para atender às atividades de curto prazo, que tangenciam a programação da produção realizada pelo PCP, deve-se buscar um programa que atenda às características do PMP para produtos acabados. (TUBINO, 2009)

Faz-se inferência a três grupos de atividades (FIGURA 2), conforme destacado por Tubino:

- 1º grupo: gestão de estoques;
- 2º grupo: sequenciamento;
- 3º grupo: emissão e liberação de ordens.



FIGURA 2 – HIERAQUIA DAS FUNÇÕES DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO
 FONTE: TUBINO (2009)

A gestão de estoques centra-se no planejamento e controle dos estoques no sistema produtivo, de forma a definir tamanhos de lotes, modelos de reposição e estoques de segurança para os itens. Esta sistemática aplicada acarreta na realização da programação a cada período, determinando a necessidade de compras, fabricação e montagem dos itens para atender o PMP.

Desta forma, pode-se verificar que após geradas as ordens de compra, estas despontam da esfera do PCP para o setor de compras, enquanto que a fabricação e a montagem encontram-se em um sistema produtivo, que tem suas limitações de capacidade tanto em relação às máquinas, quanto aos homens e demais instalações. Percebe-se então, o objetivo principal da função do sequenciamento como um aliado para tangenciar essas limitações.

Destaque-se que segundo Gomes Junior (2007) o Problema de Programação da Produção consiste em, dado um período do horizonte de planejamento (tipicamente uma semana), fazer a alocação de operações às máquinas e a programação dessas operações em cada máquina, ou seja, decidir a sequência na qual as operações devem ser processadas e em que momento do período de planejamento elas devem ser realizadas. O sequenciamento de máquinas ou de uma máquina é um problema clássico da PP que pode sofrer penalidades tanto por antecipação, quanto atraso na produção, implicando também nos custos. Ressalte-se que, em se tratando de antecipação, produção finalizada

antes da data desejada, há necessidade de estoques. No entanto, quando a produção é finalizada após a data almejada, esta arcará com mais encargos contratuais.

Uma formulação mais geral para este tipo de problema considera uma janela de tempo, denominada janela de entrega, na qual as operações finalizadas dentro desse intervalo não resultam em custos adicionais à empresa. Outra implicação relaciona-se ao tempo de preparação das máquinas, denominado de *setup*, considerada a limpeza e preparação da máquina para processar outro tipo de produto, bem como a alocação dos materiais a serem processados.

2.1 O PROBLEMA DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO (PPP)

Considera-se que a proposta do PPP é desagregar o PMP em atividades numa sequência temporal, de forma a especificar em termos precisos a carga de trabalho planejada dentro do processo de produção para o curto prazo. (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001)

Verifica-se que o PPP não só objetiva designar operações para as máquinas, como também determina a sequência de processamento de cada operação. Sendo que cada operação apresenta unicidade em seus problemas.

Segundo Gomes Junior (2007) os principais problemas centram-se nos recursos, tarefas ou operações e *job*:

Recursos: Um bem ou serviço, cuja disponibilidade pode ser limitada ou não. Eles podem ser classificados em recuperáveis e não recuperáveis. Alguns exemplos mais comuns de recursos são: máquinas, matérias-primas, mão-de-obra, etc.;

Tarefas ou Operações: Trabalho elementar cuja realização necessita de um certo número de unidades de tempo e/ou recursos;

Job: representa uma sequência conhecida de uma ou mais operações(tarefas) na fabricação de um produto. Os tempos de processamento estão associados às tarefas que compõem um *job*. (GOMES JR., 2007, p. 7)

Denota-se que em algumas situações práticas, o conceito de tarefa coincide com o conceito de *job*, por exemplo, o problema de uma máquina. (CARVALHO, 2004)

Percebe-se que a partir do PMP inicia-se o processo para determinar qual tarefa será executada primordialmente, bem como selecionar os produtos e suas respectivas quantidades a serem processadas, para então se iniciar a PP. (MOREIRA, 2008)

Segundo estudos de Taillard (1993) e Moccelin (2005), um PPP pode ser definido como um problema de n tarefas $\{J_1, J_2, \dots, J_j, \dots, J_n\}$ que devem ser processadas em m máquinas $\{M_1, M_2, \dots, M_k, \dots, M_m\}$ disponíveis. O processamento de uma tarefa J_j em uma máquina M_k , configura-se como operação (op_{kj}). Existe um tempo de processamento p_{kj} associado a cada operação. Em cada tarefa J_j há determinada data de liberação l_j (*release date*), a partir da qual a tarefa pode ser executada e uma data de entrega d_j (*due date*) referente ao prazo final da tarefa.

Para Davis, Aquilano e Chase (2001) e Moreira (2008) os objetivos da PP visam:

- priorizar as datas de entrega dos clientes;
- minimizar o tempo de fluxo ou tempo de processamento;
- minimizar o estoque em processo;
- minimizar o tempo ocioso das máquinas e dos trabalhadores;
- minimizar os *lead times*; e
- minimizar os tempos e/ou custos de *setup*.

Para atender à redução de custos operacionais faz-se necessária a redução de estoques e produtos acabados, de matérias-primas e ainda, materiais em processo. Porém, pode ocorrer uma determinada demanda que resulte em estoque, principalmente se a oscilação fez-se notória. (MOREIRA, 2008)

Segundo Moreira (2008) e Mesquita *et al.* (2008), uma programação devidamente elaborada deve buscar o equilíbrio entre seus principais objetivos. Portanto, uma regra de prioridade quando bem selecionada e com um bom desempenho para um determinado critério, pode melhorar o desempenho geral da programação.

2.2 MODELO PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO (PPP)

Destaque-se que os primeiros modelos voltados à PPP centraram-se na Programação Linear Inteira Mista (PLIM) datados das décadas de 50 e 60. (TUBINO, 2009)

Segundo Goldberg e Luna (2005) os modelos matemáticos são utilizados para representar a realidade. Para Arenales *et al.* (2007) a formulação matemática de um problema e a sua validação dependem da solução obtida ser coerente com o contexto do problema.

A programação matemática trata de problemas de decisão baseados em modelos matemáticos e as variáveis de decisão são definidas de modo a descrever o problema por meio de uma função objetivo, bem como as restrições do problema.

Neste contexto, a Pesquisa Operacional (PO) é a ciência aplicada que tem como objetivo a resolução de problemas reais por meio de modelos abstratos que os representam, facilitando muitas vezes a tomada de decisão, normalmente realizada através de modelos matemáticos resolvidos computacionalmente.

Verifica-se que estes modelos representam o problema real e permitem transcrever o processo de funcionamento de uma operação, até a obtenção de uma solução factível para o modelo, para então validar a solução do problema original com base nas respostas encontradas.

Arenales *et al.* (2007) salienta que os modelos são importantes no auxílio e orientação das tomadas de decisões, porém não substituem tomadores de decisão pelo fato de que fatores não quantificáveis também devem ser considerados para a decisão final, como soluções que não consideram falha humana.

2.3 PROCESSO DE MODELAGEM

Para Miguel (2010) o processo de modelagem, sob a ótica da pesquisa operacional, em geral, envolve dois processos de abstração. O modelo conceitual

que é retirado do problema real e, em seguida, o modelo matemático analítico ou o modelo experimental de simulação, ambos abstraídos do modelo conceitual.

Para exemplificar o processo de modelagem matemática apresenta-se o diagrama (FIGURA 3) por Arenales:

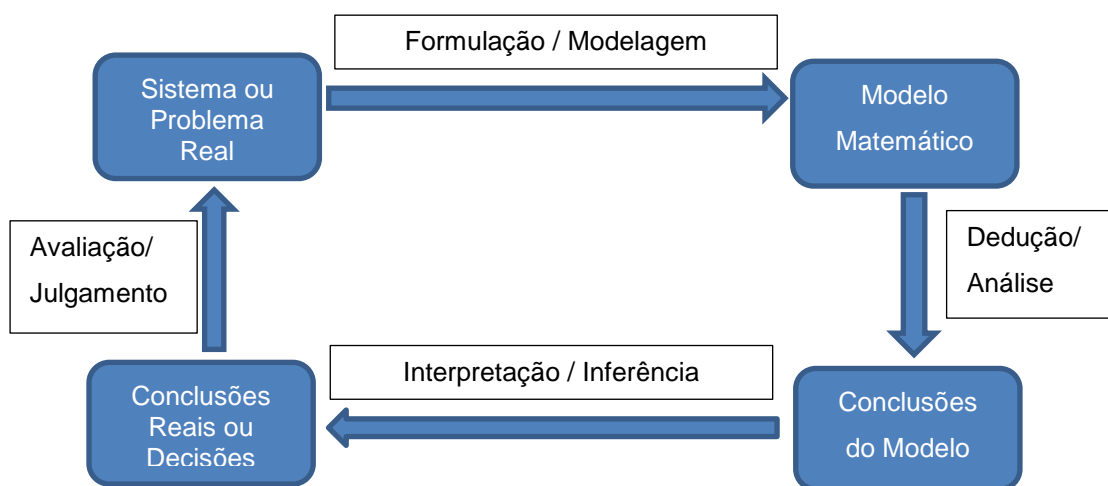


FIGURA 3 – PROCESSO DE MODELAGEM
FONTE: ARENALES *et al.* (2007)

Verifica-se que a primeira etapa tangencia a formulação/modelagem do problema real, esta fase destaca-se por sua importância e caracteriza-se também por ser complexa, afinal é nela que se define o escopo e as variáveis que descrevem o comportamento do problema para a construção do modelo matemático.

A etapa seguinte da dedução/análise, responsabiliza-se por aplicar técnicas matemáticas e o uso de tecnologia computacional para implementar e resolver o modelo matemático. Torna-se comum, nesta fase, realizar vários testes para identificar possíveis erros e também analisar a adequação da implementação computacional.

A terceira etapa refere-se a fase de interpretação/inferência, que caracteriza-se como o momento oportuno, para a discussão sobre conclusões ou decisões obtidas, por meio do modelo existente.

Destaque-se para a última etapa avaliação/julgamento, que realiza-se por meio das conclusões obtidas na fase anterior, quando da necessidade de repetir o ciclo, caso a solução obtida encontre-se dentro do escopo do problema não há necessidade de repetição.

Denota-se que o sucesso em todas as etapas descritas para criação e resolução de um modelo depende da experiência, criatividade e habilidade de um

analista de pesquisa operacional, em representar de maneira eficiente os problemas através de modelos matemáticos.

Embora o diagrama apresentado (FIGURA 3) seja direcionado para os modelos matemáticos, configura-se também para fins de simulação.

A simulação figura-se como auxiliar na tomada de decisões, tanto em operações de sistemas, quanto em processos complexos. Permite também minimizar os riscos e descobrir as decisões corretas antes de cometer equívocos, sendo assim, tornou-se indispensável na competição entre empresas (SHANNON, 1998).

2.4 PROCESSO DE SIMULAÇÃO

Percebe-se que os modelos de simulação são importantes no âmbito da pesquisa operacional, porque por meio deles é possível analisar sistemas mais complexos. Estes modelos imitam operações realizadas em um problema real limitado a um determinado espaço de tempo. (MIGUEL, 2010)

No tangente a simulação, Banks (1999) caracteriza como um procedimento que imita um processo ou um sistema real, num período de tempo e é utilizada para descrever e analisar o comportamento de um sistema. Torna-se importante por permitir o teste de vários procedimentos antes de aplicá-los em um sistema, porém não configura uma otimização de um sistema.

A simulação, apesar de bastante utilizada, não é considerada como uma técnica de otimização conforme expressam Law e McComas (2000).

Denota-se conforme estudos de Shannon (1998), que o *software* de simulação reproduz os processos que são executados no sistema de produção, desde o princípio ao término. O objetivo da simulação centra-se em facilitar ao gestor final uma tomada de decisão diante de determinado problema.

Em relação a conceituação de simulação o autor indica alguns passos que devem ser considerados em estudos relacionados ao processo de simulação quais sejam:

1. Definição do Problema;
2. Planejamento de Projeto;
3. Definição do Sistema;
4. Formulação do Modelo Conceitual;
5. Projeto Experimental Preliminar;
6. Preparação dos dados de entrada;
7. A tradução do modelo;
8. Verificação e validação;
9. Projeto experimental final;
10. Experimentação;
11. Análise e interpretação;
12. Implementação e documentação.

Verifica-se a importância relevada a essas etapas, destacando-se importante para a compreensão, concepção do modelo, desenvolvimento e os experimentos a serem executados.

2.5 MÉTODOS PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Em relação a Programação da Produção, verifica-se que os métodos mais utilizados para solucionar os problemas relacionam-se aos Métodos de Solução Ótima e Heurísticos. (MORAIS, 2008) (TSUJIGUCHI; BOIKO; MORAIS, 2010)

Percebe-se que o método é tido como exato, quando organiza uma busca em um conjunto de soluções viáveis para um determinado problema, de tal maneira que este conjunto depois de verificadas todas as soluções, garante se a solução encontrada é ou não ótima. Uma solução é dita ótima se, sob um certo critério de otimização, não existir nenhuma outra solução do problema com um valor melhor. Este método também é chamado de método de enumeração. Por se tratar de um problema de valores inteiros, um método exato, bastante comum e utilizado, é o algoritmo matemático denominado *Branch and Bound*. Este algoritmo se baseia na

ideia de desenvolvimento de vários pontos candidatos à solução ótima inteira de um problema. Em alguns casos a utilização dele pode ser inviável computacionalmente, porque dependendo da dimensão do problema o tempo de processamento se torna extenso. (GOMES JUNIOR, 2007)

Miyata, Boiko e Morais (2011) fazem uma análise de vários autores com as abordagens e métodos desenvolvidos (QUADRO 1) conforme abaixo:

Referência	Abordagem	Método desenvolvido
Hendizadeh (2008)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo e Melhorativo - Busca Tabu e <i>Simulated Annealing</i>
Huan e Yang (2008)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo e Melhorativo - Otimização da Colônia de Formigas
Kodeekha (2008)	- Solução ótima	- Método da Força Bruta - Aproximação de Programação Acoplável
Lo; Chen; Chang (2008)	- Solução ótima - Heurística - Metaheurística	- <i>Branch-and-Bound</i> - Construtivo e Melhorativo - Algoritmo Genético
Mansouri; Hendizadeh; Salmasi (2008)	- Solução ótima - Heurística - Metaheurística	- Limitante Inferior - Construtivo - <i>Simulated Annealing</i> e Algoritmo Genético
Ruiz; Stützle (2008)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo - Algoritmo Iterativo Guloso
Sajadi; Aryanezhad; Ziaee (2008)	- Solução ótima	- Programação Inteira Mista
Yang; Kuo; Chern (2008)	- Solução ótima	- <i>Branch-and-Bound</i>
Ben-Dati; Mosheiov; Oron (2009)	- Solução ótima	- Programação Inteira
Dhingra e Chandna (2009)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo e Melhorativo - Algoritmo Genético Híbrido
Linet al. (2009)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo - <i>Simulated Annealing-Based</i>
Maboundian; Shafaei (2009)	- Solução ótima	- Modelo Matemático e Limitante Inferior
Martin (2009)	- Solução ótima - Heurística - Metaheurística	- Programação Inteira Mista - Construtivo e Melhorativo - Algoritmo Genético
Mohammadi et al. (2009)	- Solução ótima - Heurística	- Programação Inteira Mista e Método da Enumeração Ótima - Construtivo
Mskani; Ladhari; Allahverdi (2009)	- Heurística	- Construtivo e Melhorativo
Eren (2010)	- Solução ótima - Heurística	- Programação Inteira - Construtivo

Gong; Tang e Duin (2010)	- Heurística	- Construtivo
Salmasi; Logendran; Skandari (2010)	- Heurística - Metaheurística - Híbrido	- Construtivo e Melhorativo - Busca Tabu - Otimização da Colônia de Formigas Híbrido
Sun (2010)	- Solução ótima	- Programação Dinâmica
Belo Filho (2010)	- Heurística	- Construtivo e Melhorativo
Fernandes; Carmo-Silva (2010)	- Simulação	- Modelo matemático
Kazama (2011)	- Heurística	- Construtivo
Silva, Morabito, Yanasse (2011)	-Solução ótima	- Programação Linear Inteira Mista
Bicalho, Santos, Yanasse (2011)	-Metaheurística	-Busca Tabu
Junior, Jesus (2012)	-Solução Ótima	- Modelo Matemático - Programação Linear Inteira Mista
Elisei (2012)	-Solução Ótima	-Modelo Matemático
Souza (2012)	-Solução Ótima -Metaheurística	-Modelo Matemático -Simulação Monte Carlo -Programação Inteira Mista
Figueiredo, Luche, Franco, Salgado (2013)	-Solução Ótima -Metaheurística	- Algoritmo Exato - <i>Simulated Annealing</i>
Junior (2013)	-Heurística -Meta-heurística	- Algoritmo Genético
Rodriguez (2013)	- Solução ótima - Heurística - Metaheurística	- Modelo matemático

QUADRO 1 – SÍNTESE DA ABORDAGEM E MÉTODOS DESENVOLVIDOS
 FONTE: MIYATA; BOIKO; MORAIS (2011), ADAPTADO.

Em análise ao (QUADRO 1), pode-se observar que dos 30 trabalhos apresentados, 17 utilizaram os métodos heurísticos, 17 utilizaram métodos exatos e 14 utilizaram os métaheurísticos. Sendo assim, observa-se neste quadro um equilíbrio entre a utilização dos métodos exatos e heurísticos, porém há uma grande tendência no uso dos métodos heurísticos porque despontam soluções viáveis em um tempo computacional aceitável, porém não afiançam uma solução ótima.

Gomes Junior (2007) propõe um Algoritmo de Determinação das Datas Ótimas de Início de Processamento (ADDOIP) apresentado (FIGURA 4) em fluxograma elucidativo:

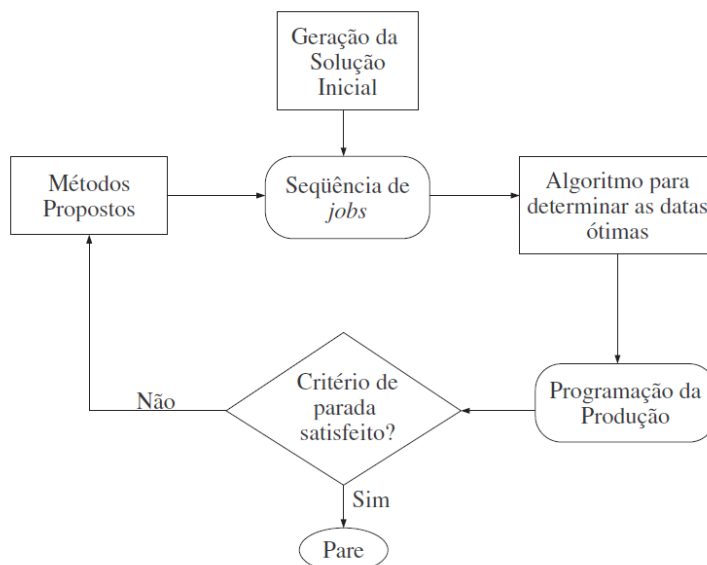


FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DO ADDOIP
 FONTE: GOMES JUNIOR (2007)

O algoritmo apresentado na (FIGURA 4) segue as seguintes etapas:

1. Inicialização: gere uma solução inicial e vá para o passo (3);
2. Gere uma sequência de *jobs* por algum dos métodos propostos;
3. Gere a programação da produção pelo algoritmo de determinação das datas ótimas;
4. Se o critério de parada for satisfeito, então pare; caso contrário, vá para o passo 2.

O procedimento descrito na (FIGURA 4) se repete até que todos os *Jobs* sejam sequenciados. Este método é baseado na meta-heurística GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* – Procedimento de busca adaptativa gulosa e randomizada) para gerar uma solução inicial e ILS (*Iterated Local Search* – Busca Local Iterativa), para a resolução do problema de sequenciamento voltado para uma máquina com penalidades por atraso e antecipação, considerando o tempo de preparo da máquina dependente da sequência de produção e com janelas de entrega.

O método proposto obteve solução ótima na resolução de problemas com até 12 *jobs*, para os problemas de maior dimensão com até 75 *jobs* obteve desvios baixos em relação a solução ótima, utilizando o software CPLEX. Este método pode ser aplicado em diversos problemas reais, como na indústria têxtil, de tintas, siderúrgicas e demais.

2.6 REGRAS DE PRIORIDADE

Caracteriza-se como comum, nesta área, os estudos que buscam melhorar os métodos existentes ou até mesmo a desenvoltura de novos métodos que possibilitem a resolução do problema de programação da produção. Torna-se complicado encontrar alguns algoritmos que se apliquem a todos os casos. Como cada empresa ou organização tem a sua especificidade e cada problema requer algumas prioridades, que são determinadas com a utilização de Regras de Prioridade (RP) e os Critérios de Desempenho (CD), são todas variáveis que devem ser consideradas (MORAIS; MENEGARDE; CANTIERE, 2009).

As RP fornecem informações, tais como, tempo de processamento, data de entrega, ordem de chegada, que ajudam a direcionar o processo de escolha e determinam a sequência de execução das tarefas nas máquinas. Os CD têm a função de identificar qual regra possui o melhor desempenho, em conformidade ao objetivo da PP, bem como avaliar a qualidade de uma PP.

Percebe-se que segundo Pinedo (2007), as RP se classificam como Regras de Despacho (RD) e por meio destas se determina qual é a próxima tarefa a ser processada. As regras existentes decorrem das diversas pesquisas realizadas nas últimas décadas.

Segundo Tubino (2009), para a seleção das tarefas faz-se necessária à utilização de determinados critérios ou RP, estas regras são consideradas heurísticas simples usadas para selecionar, a partir de informações sobre as tarefas e/ou as condições do sistema produtivo, qual das tarefas da fila de um grupo de recursos terá prioridade no processamento, bem como qual recurso deste grupo será carregado com esta ordem.

Para determinar sequências de operações em uma ou mais máquinas, são utilizadas regras de simplificação do processo, que geram soluções alternativas para os problemas de programação.

Estas regras podem determinar soluções ótimas, em determinados problemas específicos mas, de forma geral, centram-se em métodos heurísticos que não garantem a otimização do processo. (LUSTOSA *et al.*, 2008)

Várias são as regras que podem ser utilizadas de acordo com o PCP de cada empresa. As mais utilizadas na prática, segundo Gaither e Frazier 2002, Mesquita *et al.* 2008, Monks 1987, Morais, Menegarde e Cantiere 2009, Tubino 2009 e Lustosa *et al.* (2008) são descritas no (QUADRO 1):

A regra PEPS é tida como simples e também, pouco eficiente. Esta regra acaba por atrasar a sequência de produção devido às tarefas mais longas que geram tempo ocioso nos processos posteriores. Ao tratar todas as tarefas de forma igual, esta regra configura-se como justa (REID; SANDERS, 2005).

A regra de MTP apresenta boas soluções devido ao seu tempo médio de fluxo e número médio de tarefas no sistema, porém com um agravante, as tarefas longas para o processamento são preteridas (GAITHER; FRAZIER, 2002). Para Tubino (2009), a regra MTP possui índice de *lead time* médio baixo, com isso reduz os estoques em processo e aperfeiçoa os processos das máquinas à frente, bem como pretere as ordens com longos tempos de processamento. Uma solução para este caso centra-se em impor uma condição, de tal forma que a ordem torne-se preterida em determinado número de vezes, ou após certo tempo de espera, para então avançar ao início da fila para o processamento.

SIGLA	ESPECIFICAÇÃO	DEFINIÇÃO
PEPS/FIFO	Primeira que entra primeira que sai / First In, First Out	Os lotes serão processados de acordo com sua chegada. Esta regra visa minimizar o tempo de permanência na máquina ou na fábrica.
MTP/SPT	Menor tempo de Processamento / Shortest Processing Time)	Os lotes serão processados de acordo com o menor tempo de processamento, ou seja, as tarefas são sequenciadas em ordem crescente de tempo de processamento, além de reduzir as filas aumenta o fluxo.
MDE/EDD	Menor data de Entrega / Earliest Due Date	O lote será processado de acordo com a data mais próxima, as tarefas são sequenciadas em ordem crescente de prazo de entrega. Visa reduzir atrasos.
IFA	Índice de Falta	Os lotes são processados de acordo com o menor valor do resultado da operação: $\frac{\text{quantidade em estoque}}{\text{taxa de demanda}}$
IFO	Índice de Folga	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: $\frac{\text{data de entrega} - \Sigma \text{tempo de processamento restante}}{\text{número de operações restantes}}$
IPI	Índice de Prioridade	Os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente ou ao produto/tarefa.
ICR	Índice Crítico	Os lotes serão processados com o menor valor de: $\frac{\text{data de entrega} - \text{data atual}}{\text{tempo de processamento}}$

MF/LS	Menor Folga / Least Slack	O lote a ser processado é o de menor folga, visa reduzir atrasos. data prometida menos o tempo de processamento restante
RC/CR	Razão Crítica / Critical Ratio	Processa a tarefa com menor RC. $RC = \frac{\text{Tempo até a data de vencimento}}{\text{Tempo total de produção restante}}$ Processa a tarefa atrasada de menor tempo de processamento. É uma regra dinâmica que combina a MDE com a MTP
MCP	Menor Custo de Preparação	Localiza as duas próximas tarefas de menor custo de preparação, sempre escolhe o menor custo de preparação entre as tarefas possíveis.
	Algoritmo de Moore	Visa minimizar o número de ordens atrasadas. (uma máquina)
	Algoritmo de Johnson	Minimiza o <i>lead time</i> de um conjunto de ordens processadas em dois recursos sucessivos (Máquina A e Máquina B em série).

QUADRO 2 – REGRAS DE PRIORIDADE

FONTE: ADAPTADO DE LUSTOSA *et al.* (2008); TUBINO, (2009)

Nota-se que a regra MDE, prioriza as datas de entrega dos lotes de forma a reduzir atrasos, utilizada principalmente em processos que visam a satisfação do cliente.

No tangente a regra IFA, percebe-se a busca em evitar que estoques se esgotem, o que ocasionaria prejuízo ao fluxo. Esta regra relaciona o estoque com a demanda e, com isso torna-se a mais utilizada para itens intermediários que compõem os produtos acabados.

Verifica-se na regra IFO, a relação entre a data de entrega do lote e o tempo de processamento, de forma a considerar, além da operação imediata, todas as posteriores. Também se caracteriza como uma regra que prioriza o cliente.

No tangente a regra ICR, percebe-se a relação entre a data de entrega do lote, a data atual e o tempo de processamento. Caracteriza-se também, como uma regra que prioriza o cliente.

Denota-se na regra IPI, a priorização da tarefa a ser processada, em conformidade a prioridade atribuída ao cliente.

Em relação a regra MF, esta mantém o foco nas tarefas com menor intervalo para processamento.

Percebe-se na regra RC, uma busca por combinar a regra MDE, que considera a data prometida, combinada à regra MTP, que aquém disso acaba por considerar apenas o tempo de processamento.

Já na regra MCP, denota-se a realização de tarefas com menor custo de preparação, dentre todas as possíveis.

Verifica-se que as regras que dependem do cálculo de índices como ICR, IFA e IFO, normalmente são utilizadas em corporações que possuem ambientes informatizados.

Estas RP se relacionam com os Critérios de Desempenho (CD), conforme os objetivos competitivos de cada organização. (MORAIS; MENEGARDE; CANTIERE, 2009)

Portanto, pode-se afirmar que não existem RP que sejam eficientes em todas as conjunturas, principalmente pela especificidade constante em cada empresa, contudo, apresentam-se de forma eficaz quando constituir o PMP. (TUBINO, 2009)

Como pode-se observar (QUADRO 1), várias são as regras que auxiliam nas tomadas de decisões pertinentes a determinadas organizações. Mas uma boa regra de decisão, no entanto, não resolverá o problema de sequenciamento, se não houver capacidade suficiente no processo de produção, portanto, dificilmente se substituirá um bom PMP.

Para realizar a programação pode ser usada uma ou mais regras, para obtenção de melhores resultados. Apresenta-se no (APÊNDICE I) a aplicação de algumas dessas regras, que consideram apenas uma máquina. Este exemplo permitirá uma efetiva compreensão da aplicação destas regras, bem como seu potencial no sequenciamento. Embora o exemplo considere apenas uma máquina, estas regras podem estender-se às demais, considerando um possível aumento no grau dificuldade para a resolução do problema.

Os conceitos destas regras podem ser utilizados com base no que foi desenvolvido no Laboratório de Simulação de Sistemas de Produção da UFSC (LSSP_PCP2), que discute as características do PCP, voltado para a programação da produção empurrada, por meio de um jogo que trabalha a dinâmica do PCP em médio e curto prazo. Para visualizar o sequenciamento, este jogo apresenta uma forma gráfica, chamada de gráfico de Gantt, que serve como ferramenta para auxiliar a programação (TUBINO, 2009).

Um conceito importante que se relaciona às regras de sequenciamento em processos repetitivos em lotes, refere-se ao gargalo. É ele o delimitador de todo um processo produtivo. A Teoria das Restrições (*Teory of Constraints – TOC*), difundida

por Goldratt no final da década de 70, caracterizou-se como pioneira ao explorar o conceito de gargalo, trabalhando com regras de sequenciamento com o auxílio do *software* OPT (*Optimized Production Technology*). (TUBINO, 2009 e LUSTOSA *et al.*, 2008)

2.7 PROBLEMA DE BALANCEAMENTO

Verifica-se na literatura o problema de balanceamento voltado para as linhas de montagem SCHOLL, (1999); BECKER e SCHOLL, (2006), BATTINI *et al.*, (2009), BOCK *et al.*, (2006). Para SCHOLL, (1999) este problema pode ser interpretado como de divisão de tarefas de montagem em estações de trabalho, atendendo a determinadas restrições.

A otimização da divisão das tarefas entre as estações de trabalho é tida como um Problema de Linhas de Montagem (*Assembly Line Balancing Problem – ALBP*). (SCHOLL; BOYSEN; FLIEDNER, 2009)

Configura-se o balanceamento da produção como responsável por distribuir, de maneira uniforme, a utilização das máquinas, bem como as tarefas aos operadores dentro do sistema, pode também ser aplicado em uma linha de montagem composta por duas ou mais máquinas, ou na distribuição da carga/tarefa aos operadores, em ambos casos pode ocorrer o desbalanceamento.

Uma linha de produção pode ser limitada pelo desempenho de determinada máquina, com o menor tempo de processamento, esta é considerada como “gargalo” da produção. Para Rajakumar *et al.* (2007), o objetivo do problema de balanceamento é eliminar estes “gargalos”, pois sua presença não deixa o sistema alcançar sua capacidade máxima. Percebe-se em literatura de Chiavenato (2005), que o arranjo físico visa proporcionar um adequado balanceamento ao processo produtivo a fim de evitar gargalos, folga e restrições ao fluxo de produção. Para Correa e Correa, (2009) o arranjo físico pode afetar os níveis de eficiência e eficácia das operações.

Em referência ao problema de balanceamento, este se representa por meio de uma função objetiva, que pode, por exemplo, minimizar o custo no processo de

produção, o tempo de ciclo das estações de trabalho e também o tempo de máquina parada no processo produtivo, ou ainda maximizar a eficiência da linha de produção.

A diversidade que tangencia a literatura sobre o assunto é vasta, nela os autores propõem diversas funções objetivo para a resolução do problema de balanceamento, das quais destacam-se:

Em Klein e Scholl (1996), que o método *Branch and Bound* figurou-se para minimizar o tempo de ciclo em linhas de montagem com modelo único.

Para Scholl e Klein (1999), o método *Branch and Bound* fora utilizado para maximizar a eficiência de uma linha de montagem em “U”.

Em conformidade a Rajakumar *et. al.* (2007) percebe-se o Algoritmo Genético e três heurísticas (*random*, *Shortest processing time* e *longest processing time*) para minimizar o tempo de ciclo de uma linha de produção com máquinas em paralelo.

Denota-se em Battini *et al.* (2009), que através da modelagem matemática, se resolve o problema de balanceamento e sequenciamento de uma linha de múltiplos modelos com capacidade limitada.

Em Takano *et. al.* (2010), fora proposto um modelo matemático para resolução do problema de balanceamento e sequenciamento da produção simultaneamente.

Para Breginski (2013), percebe-se que o balanceamento de linhas de montagem pode ser resolvido por meio de aplicação dos métodos exatos, heurísticos, meta-heurísticos e simulação.

2.8 PROBLEMA DE DIMENSIONAMENTO DE LOTES DE PRODUÇÃO

Em consideração ao problema de dimensionamento de lotes de produção, verifica-se que o mesmo consiste no planejamento do tamanho dos lotes de produção, ou seja, em determinar a quantidade de itens que devem ser produzidos em cada lote, em uma, duas ou n máquinas, dentro de um horizonte de planejamento, para atender uma determinada demanda que, muitas vezes, pode

sofrer restrições de limite de capacidade e por algum critério de otimização pode, por exemplo, minimizar os custos (ARAUJO; ARENALES, 2000).

Para Defalque (2010), o dimensionamento pode ser resolvido de maneira independente ou ainda em sincronismo com o problema de sequenciamento. Normalmente, nas empresas, estes problemas são resolvidos separadamente, porém na literatura, existe uma tendência de trabalhos que tangenciam os modelos matemáticos para a busca de simultaneidade de relações entre os problemas.

Destaque-se para exemplos de dimensionamento e sequenciamento, as indústrias de ração animal ARAUJO *et. al.*, (2008) na indústria de fundição TOSO *et. al.*, (2009) e na indústria de bebidas FERREIRA *et. al.*, (2010).

2.9 O PROBLEMA DO SEQUENCIAMENTO

Define-se sequenciamento (*Scheduling*) como o estudo relacionado à definição da ordem de entrada das tarefas (*jobs*), ou ordens a serem executadas em recursos produtivos, selecionando a ordem que cada tarefa deverá ser processada na(s) máquina(s). Neste problema, busca-se obter o melhor sequenciamento possível, para tanto faz-se necessário racionalizar o uso dos recursos produtivos. Por esta razão o estudo sobre sequenciamento torna-se relevante.

Verifica-se que o problema do sequenciamento consiste em decidir quando e com quais recursos e ordens de fabricação e montagem devem ser realizadas. (CORREA *et al.*, 2001)

Acorde-se para o problema do sequenciamento que objetiva minimizar o tempo total exigido para execução de um conjunto de tarefas. A sequência de produção pode ser estabelecida tendo em vista alguns objetivos, como pode-se observar:

- Cumprir datas previstas de término;
- Velocidade de fluxo;
- Otimizar a utilização das máquinas;
- Minimizar os custos de produção.

Estes objetivos devem atender aos critérios adotados pela organização, levando-se em consideração que cada organização possui seus critérios. Quando ocorre da organização possuir como prioridade o cliente, então, esta visa o cumprimento de prazos de entrega.

A velocidade de fluxo se relaciona com o tempo que cada operação ou tarefa levam para o processamento, desde o momento em que se inicia o processo até a conclusão. Para aumentar a vazão na fábrica faz-se necessário critérios para priorização do sequenciamento das tarefas nas máquinas, objetivando diminuir o tempo de espera nas filas de entrada dos Centros de Trabalho (CT), local de processamento das tarefas.

Otimizar a utilização das máquinas ou minimizar a ociosidade destes recursos, está intrinsecamente relacionado com a meta de minimizar os custos da produção para a empresa. Este é um fator considerado bastante importante para uma empresa que busca se manter competitiva dentro do mercado. Porém, esta é uma meta que deve ser definida no nível hierárquico mais alto do planejamento, qual seja o planejamento estratégico da produção que se define no âmbito do plano estratégico, onde está dimensionada a capacidade de produção. (LUSTOSA *et al.*, 2008)

2.10 SEQUENCIAMENTO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO EM LOTES

Em referência ao sequenciamento de produção em lotes, percebe-se a busca na produção exata de um determinado tipo de produto de cada vez.

O sequenciamento de lotes de produção em uma máquina pode ser representado por um modelo matemático, seus métodos de programação matemática podem ser exatos, heurísticos e meta-heurísticos.

Em relação aos métodos exatos, tem-se a resolução de problemas pequenos na sua otimalidade, enquanto que para problemas de maior dimensão, sendo maioria dos casos, se torna inviável devido a grande demanda de tempo para o processamento computacional.

Os métodos heurísticos, que também são chamados de métodos aproximados, são os mais utilizados por determinarem boas soluções para o problema, todavia não garantem a otimização da solução encontrada. Como apresentam a solução em um baixo tempo computacional, em relação à resolução de problemas maiores, próximos a realidade, na maioria dos casos se tornam suficientes.

Denota-se que os meta-heurísticos surgiram, devido a necessidade de diminuição no tempo computacional, para tanto foram utilizados conceitos de otimização e inteligência artificial, tornando possível a melhora dos métodos heurísticos. Devido a isso, diversos autores se utilizam desse método para a resolução de problemas, dentre eles, o de sequenciamento de uma máquina.

Para Davis *et. al.* (2001), Monks (1987) e Morais *et. al.* (2009), o sequenciamento é o processo de determinação de qual tarefa é iniciada antes em alguma máquina, ou seja, consiste na determinação de quais máquinas ou centros de trabalho serão utilizados para processar uma determinada tarefa.

Para Tubino (2009) o sequenciamento na produção de lotes se classifica como um processo repetitivo, sendo caracterizado pela produção de um médio volume de itens padronizados. Cada lote de itens segue um roteiro padrão e ao chegar no local para produção aguarda em uma fila a determinação da prioridade de processamento, de forma a atender determinadas regras predefinidas.

O sistema de administração de estoques, que antecede o sequenciamento, tem como função definir a quantidade e o momento em que os lotes são necessários para então, por meio do sequenciamento, definir a ordem de alocação das tarefas nos recursos (máquinas). (TUBINO, 1997)

O carregamento destes lotes nas máquinas é definido pelo cálculo da taxa de produção (TX) que dita o volume de processos de fabricação em lotes. A TX é obtida pela equação: $TX = \frac{TD}{D}$, na qual:

- TX = taxa de produção em minutos por unidade;
- TD = tempo disponível para a produção em minutos por dia;
- D = demanda média de unidades por dia.

Para Baker (1974), os modelos de sequenciamento necessitam de classificação, tanto aos recursos, quanto ao comportamento das operações. Um modelo pode conter um ou vários tipos de recursos, que podem ser especializados

(executa uma única operação) ou paralelos (executam diversos recursos em uma mesma operação).

Ao tratar das ordens de fabricação, verifica-se que estas, podem ser sequenciadas sob dois distintos aspectos: sendo o primeiro relacionado à tomada de decisão, que tangencia a definição de qual ordem deve ser processada dentro de uma lista e sendo esta definição, normalmente relacionada a regras baseadas nas características do item ou do lote a ser produzido; o segundo aspecto se direciona para a decisão de escolha de qual recurso deva ser empregado dentro de uma lista de disponibilidade e tal decisão, geralmente, se foca nas regras de sequenciamento.

As decisões das ordens de fabricação encontram-se representadas conforme exposto abaixo (FIGURA 5):

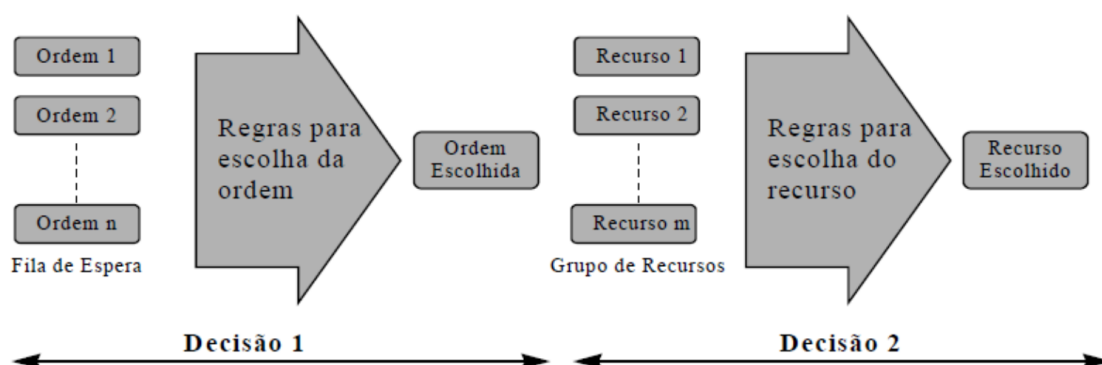


FIGURA 5 – DECISÕES NO SEQUENCIAMENTO DOS PROCESSOS
FONTE: TUBINO, (1997)

Denota-se, em relação ao sequenciamento dos processos, nas palavras de Tubino que:

De forma geral, sejam puxadas ou empurradas, as ordens de fabricação no sistema de produção em lotes necessitam ser sequenciadas em cima de regras que permitam a escolha da ordem e a escolha do recurso onde essa ordem será executada. (TUBINO, 2009)

Portanto, o sequenciamento de lotes é complexo devido a necessidade de espaço para os recursos, o que acarreta no desmembramento do produto acabado. O sequenciamento na produção de lotes caracteriza-se pelo baixo volume de produção de itens padronizados e produzidos em lotes. Cada lote ou ordem segue um roteiro de operações padrões a serem executadas. Para a execução do lote faz-se necessária uma prioridade, baseada em regras pré-definidas, para então

estabelecer a sequência dos recursos a serem carregados. Este sequenciamento torna-se crítico, pois, via de regra, a maior parcela do *lead time* compreende o tempo em que o lote aguarda para ser processado, que pode chegar a 80% do tempo real, caso esta função esteja desequilibrada. Este tempo de espera é considerado o maior gerador de desperdício na Manufatura Enxuta (TUBINO, 2009).

Este desperdício encontra-se explicitado conforme cronograma de fabricação na (FIGURA 6):

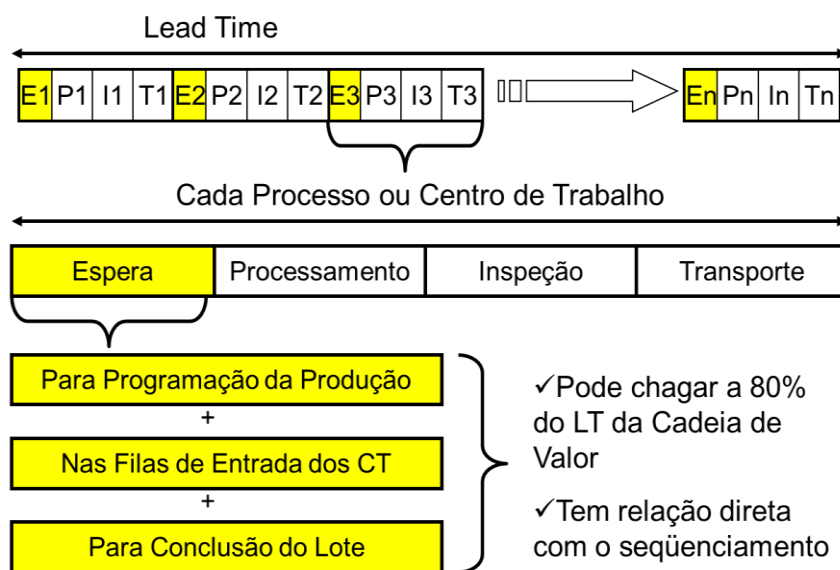


FIGURA 6 – O SEQUENCIAMENTO E A FORMAÇÃO DO *LEAD TIME*
FONTE: TUBINO, (2009).

Percebe-se que uma boa programação e um bom sequenciamento da produção podem minimizar os desperdícios, tais como: tempo em filas, excessivo estoque, mão de obra, recursos ociosos, entre outros.

Verifica-se que perante a dificuldade de encontrar a melhor maneira para sequenciar lotes de produção, surge o questionamento de porque a necessidade de sequenciar? Do ponto de vista de Plenert e Kirchmier (2000), percebe-se que a necessidade gira em torno de três fatores: entrega do produto em tempo, a qualidade e o preço, reforçam que o atraso na entrega do produto gera alto custo, o que é inviável para as empresas; ainda acrescentam que o sequenciamento deve maximizar os recursos utilizados, minimizar o custo e aumentar a rotatividade dos estoques de tal forma que se obtenha uma produção factível.

Conforme Lustosa *et al.* (2008), uma organização além ter um bom equilíbrio entre os objetivos da programação, deve sempre procurar melhorar o desempenho da programação da produção através das regras de prioridade.

A Programação da Produção é alvo de vários estudos e pesquisas, devido a diversidade dos sistemas de produção, sendo difícil determinar um algoritmo que se torne universal, ou seja, atenda a todas as diferentes situações (MESQUITA *et al.*, 2008). Com isso, para atender as particularidades de cada organização são utilizadas determinadas regras de prioridade e critérios de desempenho, na busca de uma solução adequada a cada plano de organização.

Na busca da melhor solução para esse problema vale ressaltar que além da disponibilidade de diferentes regras e algoritmos, para analisar e comparar as soluções geradas, deve-se ter um *software* para processar todas estas restrições de sequenciamento em tempo hábil, de forma a apontar a melhor solução.

Para Lustosa *et. al.* (2008), o sequenciamento encontra-se inserido em um contexto de fabricação de manufatura. Para a teoria de programação são considerados quatro ambientes: uma máquina, máquinas em paralelo, máquinas em série e oficina de máquinas.

Baker (1974), Arenales (2007), Boiko e Moraes (2009), consideram que os problemas de programação da produção encontram-se divididos conforme os sistemas de produção, que podem ser: problemas de uma máquina, problemas de máquinas paralelas, problemas de *job shop* e problemas de *flow shop*.

Em item subsequente será apresentado, o problema voltado para a programação e sequenciamento da produção em uma máquina.

2.11 O PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO EM UMA MÁQUINA (*SINGLE MACHINE SHOP*)

Esta é a primeira classe de problemas voltados para o sequenciamento em uma máquina e é considerada a mais simples. Porém, na prática, torna-se difícil encontrar fábricas que possuam, somente uma máquina para processar seus produtos, mas torna-se importante entender os conceitos e métodos de

programação em uma máquina, porque estes permitirão o avanço perante problemas mais complexos. (LUSTOSA *et al.*, 2008)

Verifica-se que em uma produção com n máquinas, quando há um recurso considerado como gargalo, neste caso, pode-se aplicar neste recurso, os conceitos de programação em uma máquina para programar a melhor sequência possível e então dar início ao sistema de produção. Nos sistemas produtivos, onde os Centros de Trabalho ou Estações de Trabalho dependem um do outro, também podem ser representados como um problema de programação em uma máquina.

Percebe-se que o problema de sequenciamento em uma máquina consiste em sequenciar n tarefas em uma única máquina. Neste caso, todas as ordens de produção ou tarefas devem estar disponíveis na data zero para o início da produção.

Atente-se, para melhor visualização do problema, para a configuração conforme exposta na (FIGURA 7), na qual tem-se a forma como “os *Jobs* 1 a n são processados em uma máquina dando origem aos produtos 1 a n ” (GOMES JUNIOR, 2007, p. 8).

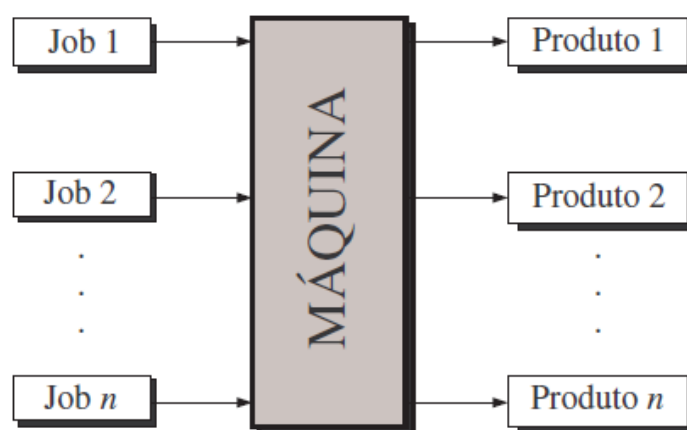


FIGURA 7 – EXEMPLO DO SEQUENCIAMENTO EM UMA MÁQUINA
FONTE: GOMES JUNIOR, (2007)

Neste problema, considera-se a existência de “ n ” *Jobs* a serem processados, no qual cada *job* possui parâmetros específicos tais como, tempo de processamento, data de entrega, entre outros. Devido a estes parâmetros, o sequenciamento destes *jobs*, deve seguir determinadas regras de prioridade, ou métodos que atendam o que fora definido na etapa de planejamento estratégico, de forma a atender a especificidade da organização.

Configura-se, em um primeiro olhar, como um problema de rápida resolução, no entanto, quanto maior o número de tarefas (*jobs*), maior será a dificuldade em sequenciar a produção. Cabe exemplificar: para o sequenciamento de 5 tarefas, tem-se 120 possíveis maneiras de sequenciá-las, caso seja necessário o sequenciamento de 7 tarefas, tem-se 5.040 possibilidade de sequenciação, portanto verifica-se que conforme aumenta o número de tarefas, proporcionalmente a dificuldade em programá-las também aumenta.

Percebe-se em leitura da (TABELA 1), a exposição de cálculos das $n!$ possíveis possibilidades, levando-se em consideração a disponibilidade de apenas uma máquina para tal processamento:

Tarefas	$n!$
1	1
2	2
3	6
4	24
5	120
6	720
7	5040
8	40320
9	362880
10	3628800
11	39916800
12	479001600
13	6227020800
14	87178291200
15	1307674368000
16	20922789888000
17	355687428096000
18	6402373705728000
19	121645100408832000
20	2432902008176640000

TABELA 1 – CÁLCULO DAS POSSIBILIDADES DE SEQUENCIAR 20 TAREFAS A SEREM PROCESSADAS EM UMA MÁQUINA.
FONTE: O AUTOR

Este problema configura-se como permutacional, tendo por objetivo a determinação das $n!$ possíveis sequências. Neste caso considera-se que todas as tarefas (*jobs*) têm a mesma sequência tecnológica de produção, bem como encontram-se disponíveis para o sequenciamento na data zero.

No problema de sequenciamento em uma máquina, percebe-se que além das regras de prioridades já expostas, encontram-se também, na literatura, o Algoritmo de Moore, este método visa minimização do número de ordens atrasadas. A seguir é apresentado o procedimento de tal algoritmo:

Algoritmo de Moore	
<i>Início</i>	
	Sequencie as tarefas por MDE.
<i>Enquanto</i>	houver “tarefa atrasada” e “não descartada” <i>faça</i> :
	Identifique, na sequência, a primeira tarefa atrasada;
	Considere as tarefas até a primeira tarefa atrasada, escolha a de maior tempo de processamento e descarte-a da lista de tarefas;
<i>Fim Enquanto</i>	
	A sequência remanescente, seguida das tarefas descartadas, apresenta o número mínimo de tarefas atrasadas.
<i>Fim</i>	

QUADRO 3 – ALGORITMO DE MOORE

FONTE: LUSTOSA *et al.*, (2008)

Uma aplicação deste algoritmo pode ser verificada conforme exemplo 2, constante no apêndice da pesquisa.

O sequenciamento destas tarefas normalmente é representado por um gráfico, intuindo a fácil visualização da sequência de produção. O gráfico mais utilizado e conhecido neste tipo de problema é o Diagrama de Gantt (GRÁFICO 1). Nele, verifica-se que o eixo das abscissas representa o recurso utilizado e o eixo das ordenadas representa o tempo de processamento:

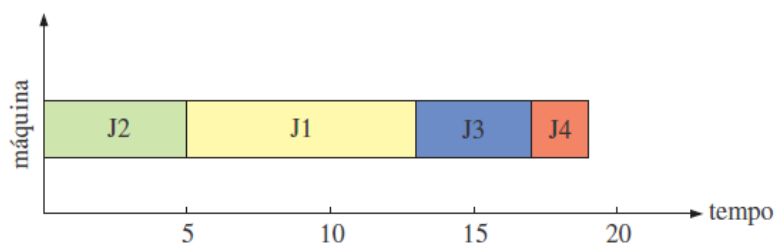


GRÁFICO 1 – GRAFICO DE GANTT PARA UMA MÁQUINA

FONTE: GOMES JUNIOR, (2007)

A barra do diagrama é composta por sub-barras que representam as operações realizadas (*Jobs*) com seus respectivos tempos. O J2 começa na data

zero e é finalizado na data 5, o *J1* começa na data 5, sendo finalizado na data 13, e assim sucessivamente.

A seguir apresentam-se outras duas possibilidades referentes a programação de múltiplas máquinas que podem estar dispostas tanto em paralelo, quanto em série.

2.12 MÁQUINAS PARALELAS

O problema de sequenciamento de máquinas paralelas (PMSP – *parallel machine scheduling problem*) consiste em processar os *jobs* em uma máquina pertencente a um outro conjunto de máquinas que podem ser idênticas ou não. As máquinas consideradas idênticas possuem a mesma velocidade de processamento, enquanto que, as máquinas não idênticas possuem velocidades diferentes de processamento. Um exemplo de máquinas paralelas é apresentado na (FIGURA 8):

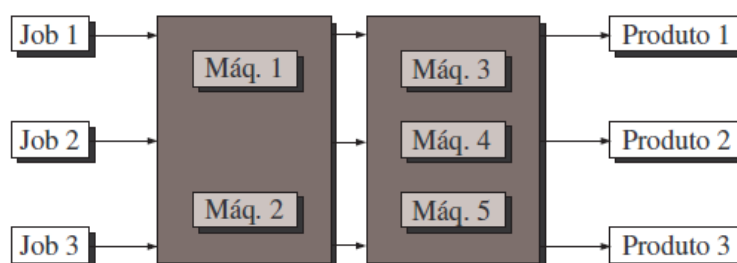


FIGURA 8 – EXEMPLO DE MÁQUINAS PARALELAS
FONTE: GOMES JUNIOR, (2007)

Neste exemplo, tem-se dois conjuntos de máquinas, o primeiro é composto pelas máquinas 1 e 2, o segundo é formado pelas máquinas 3, 4 e 5. Os *jobs*, primeiramente, devem ser processados por qualquer máquina pertencente ao primeiro conjunto de máquinas e, em seguida, por qualquer uma das máquinas do segundo conjunto.

Considerando-se o caso particular de máquinas idênticas, os tempos de processamento são independentes das sequencias de cada máquina, ou seja, os tempos podem ser incluídos no tempo total de processamento destas tarefas. (LUSTOSA *et. al.*, 2008).

Para a programação do sequenciamento de máquinas paralelas idênticas, será considerado que todos os *Jobs* estão disponíveis na data zero, ou seja, estão disponíveis para início de processamento. O objetivo principal, consiste em minimizar o tempo total de processamento dos *Jobs* (*makespan*) e para que isto seja cumprido, aplica-se o procedimento da regra de Maior Tempo de Processamento Primeiro ou conforme termo em inglês: *Longest Process Time* (LPT), que tem seu procedimento descrito no (QUADRO 4) com as seguintes especificações:

Algoritmo LPT para Máquinas em Paralelo	
<i>Início</i>	
	Sequencie as tarefas em ordem decrescente do tempo de processamento;
	<i>Enquanto</i> houver “tarefa não alocada” <i>faça</i> :
	Aloque a ordem de maior tempo de processamento na máquina que estiver mais cedo disponível. (Em caso de empate, escolha uma delas arbitrariamente);
	<i>Fim Enquanto</i>
	<i>Fim</i>

QUADRO 4 – ALGORITMO LPT
 FONTE: LUSTOSA *et. al.*(2008)

Denota-se portanto, que este algoritmo busca minimizar o tempo total de execução das tarefas e para ilustrar esta heurística, tem-se no apêndice o modelo exposto no exemplo 3.

2.13 SISTEMA *JOB SHOP*

Neste ambiente, ou sistema produtivo, não há uniformidade nos roteiros de produção e devido a isto, normalmente, as máquinas são agrupadas por semelhança dando origem ao denominado *layout* funcional. Este sistema também pode ser tratado como uma programação em oficinas de máquinas (LUSTOSA *et al.*, 2008).

Este tipo de problema é caracterizado pelo baixo volume de produção, bem como pelo alto volume de variação nos processos produtivos. Devido à especificidade de cada *job*, a programação a ser realizada nos recursos flexíveis torna-se complexa. Quanto maior a flexibilidade, maior será a dificuldade de resolução do problema (BRANCO, 2010).

Nesta classe de problemas, há um conjunto de n tarefas que devem ser processadas em um conjunto de m máquinas com roteiros variáveis, desta forma cada tarefa (*job*), tem a sua própria sequência tecnológica de produção. Para ilustrar esta classe de problema é apresentada a (FIGURA 9):

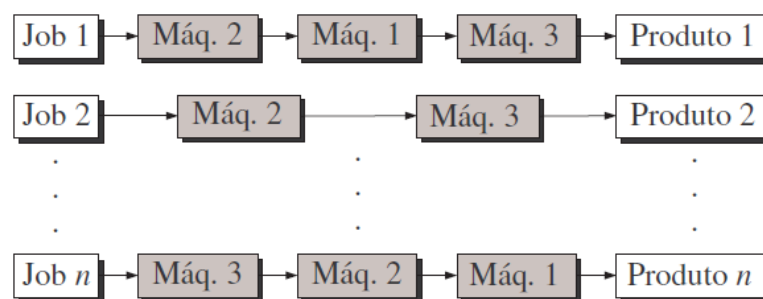


FIGURA 9 - EXEMPLO DO PROBLEMA DE JOB SHOP
FONTE: GOMES JUNIOR, (2007)

Em consonância a leitura de Bittencourt (2013), verifica-se que este sistema de produção pode caracterizar-se como um problema da seguinte maneira: i) O processamento das tarefas obedece a uma ordem pré-definida na sequência tecnológica das máquinas; ii) Cada máquina pode processar somente uma tarefa por vez; iii) O processamento de cada tarefa J_j na máquina M_r é denominado de operação O_{jr} ; iv) Cada tarefa tem exclusividade no uso da máquina M_r não sendo permita a preempção, ou seja, interromper uma operação para depois retomá-la.

O sequenciamento de n jobs para serem processados em m máquinas, é considerado bastante complexo e pode ser representado por $(n!)^m$ possibilidades de sequências. Quando um roteiro de produção exige que os jobs sejam processados primeiro na M1 e em seguida na M2, tem-se $(2!)^1 = 2$ possibilidades, ou seja, a sequência seria equivalente a: J1-J2 ou J2-J1. No entanto, quando há um alto número de máquinas, sem uma obrigatoriedade em respeitar determinada sequência, o nível de dificuldade para a resolução deste problema aumenta ainda mais. Pode-se considerar, por exemplo, conforme situação exposta anteriormente, dois jobs a serem processados em duas máquinas, porém estes jobs podem ser

processados em qualquer umas das duas máquinas, sem respeitar uma sequência pré-estabelecida o que implicaria em $(2!)^2 = 4$ possibilidades de sequenciamento, veja-se: i) J1-J2 (M1- M2); ii) J2-J1 (M1- M2); iii) J1-J2 (M2-M1); iv) J1-J2 (M2-M1).

A título ilustrativo denota-se a velocidade com que o problema se expande quando é aumentado o número de *jobs* e de máquinas, conforme representa a (TABELA 2):

Tarefas	n!	máq	(n!)^m
1	1	3	1
2	2	3	8
3	6	3	216
4	24	3	13824
5	120	3	1728000
6	720	3	373248000
7	5040	3	128024064000
8	40320	3	65548320768000
9	362880	3	47784725839872000
10	3628800	3	47784725839872000000
11	39916800	3	63601470092869600000000
12	479001600	3	109903340320479000000000000
13	6227020800	3	241457638684092000000000000000
14	87178291200	3	66255976054914800000000000000000
15	1307674368000	3	223613919185337000000000000000000000
16	20922789888000	3	91592261298314200000000000000000000000
17	355687428096000	3	449992779758618000000000000000000000000000
18	6402373705728000	3	262435789155226000000000000000000000000000000
19	121645100408832000	3	180004707781569000000000000000000000000000000000
20	2432902008176640000	3	14400376622525500000000000000000000000000000000000

TABELA 2 – CÁLCULOS DAS POSSIBILIDADES DE SEQUENCIAR 20 TAREFAS EM 3 MÁQUINAS
FONTE: O AUTOR

Percebe-se que com a apresentação destes cálculos, evidencia-se a complexidade de resolução do problema no sistema *job shop*.

Para a resolução deste tipo de problema pode ser utilizada as Regras de Prioridade já mencionadas, dentre elas: PEPS, MTP, MDE, entre outras, bem como torna-se possível a utilização de algoritmos para a resolução.

A seguir é apresentado o sistema *flow shop*, que caracteriza-se como uma particularidade constante no sistema *job shop*.

2.14 SISTEMA *FLOW SHOP*

Neste sistema ocorrem os processos de produção em lotes, nos quais se considera um conjunto de n *jobs* que devem ser processados em uma sequência de m máquinas. Este sistema é considerado como um caso particular do sistema *job shop*. Portanto, todos os *jobs* devem apresentar a mesma sequência tecnológica de produção, um roteiro fixo como apresentado na (FIGURA 10):

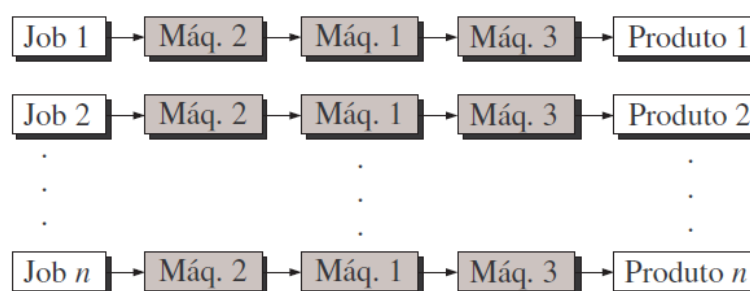
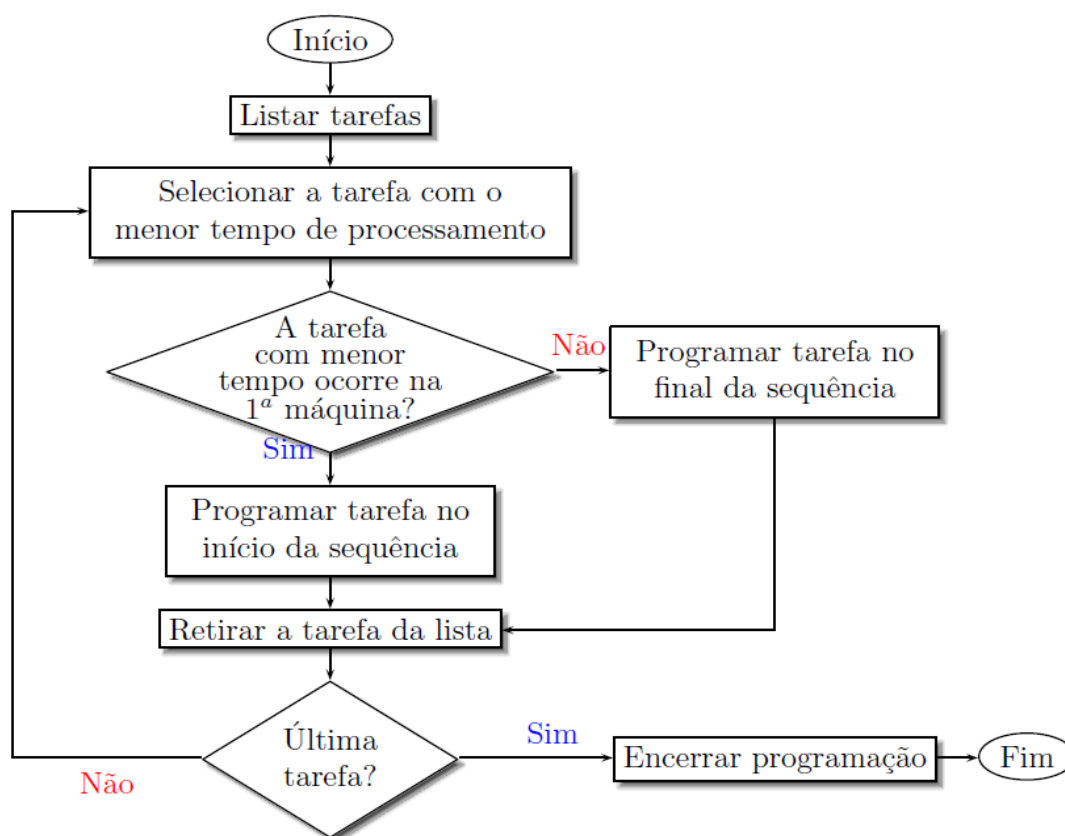


FIGURA 10 - EXEMPLO DO PROBLEMA DE FLOW SHOP
FONTE: GOMES JUNIOR, (2007)

Percebe-se que este sistema, segundo Lustosa *et. al.* (2008), pode ser denominado de *flow shop* puro, enquanto que no sistema de *flow shop* geral, alguns *jobs* podem pular alguma(s) máquina(s) no processo produtivo porém, devem manter o sentido do fluxo.

Verifica-se que para a programação, neste tipo de sistema, leva-se em consideração as máquinas que devem estar dispostas em série, para a programação do sequenciamento da produção, considera-se duas máquinas e é utilizado o Algoritmo de Johnson que é uma heurística usada para sequenciar n tarefas para duas máquinas. O objetivo deste algoritmo é permutar os *jobs* de forma a indicar o melhor sequenciamento. A sequência dos passos desenvolvidos por este algoritmo encontra-se descrito no (QUADRO 5).



QUADRO 5 – ALGORITMO DE JOHNSON
 FONTE: BITTENCOURT, (2013)

Após o algoritmo identificar que a tarefa com o menor tempo de processamento ocorre na máquina M1, designa esta tarefa para a posição p_1 e a retira da lista, caso a posição já tenha tarefa designada, esta é programada para a posição p_1+1 , p_2+2 e assim sucessivamente. Também pode ocorrer o caso em que o menor tempo de processamento ocorre na máquina M2, neste caso, a tarefa é designada para o final da sequência, ou seja, última posição da sequência p_n , caso esta posição já esteja ocupada por outra tarefa já designada, esta será programada para a posição p_n-1 , p_n-2 e assim sucessivamente, até que todas as tarefas sejam sequenciadas. Para uma melhor compreensão deste procedimento é apresentado o exemplo 4 no Apêndice.

Para a programação do sequenciamento, que considera três máquinas, não existe uma solução geral de ordem pré-estabelecida M1->M2->M3 para cada *job* e sem alteração nas ordens de produção. Portanto, para a resolução deste problema utiliza-se o Algoritmo de Johnson adaptado. O método consiste em substituir este problema por um problema equivalente envolvendo n *jobs* e duas máquinas, ou seja, a criação de duas máquinas fictícias M4 e M5, cujo tempo de processamento da

máquina M4 será a soma dos tempos de processamento das máquinas M1 e M2, e o tempo de processamento da máquina M5 será a soma dos tempos de processamento das máquinas M2 e M3, realizada esta soma, tem-se um problema de n jobs e duas máquinas, para então aplicar-se o Algoritmo de Johnson e solucionar o problema (CAMPBELL *et. al.*, 1970), (GUPTA *et.al.*, 2012).

2.15 SOFTWARES VOLTADOS PARA O PCP, PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO E OTIMIZAÇÃO

Para a resolução do problema de sequenciamento através dos modelos e métodos descritos, existem alguns *softwares* comerciais de otimização disponíveis no mercado como pode-se verificar:

LINDO (*Linear, INteractive and Discrete Optimizer*) da LINDO SYSTEMS, é um *software* utilizado para a resolução de problemas de programação linear, inteira e quadrática. Para sua utilização faz-se necessário o conhecimento sobre modelagem matemática, a fim de inserir os dados no *software*.

LINGO da LINDO SYSTEMS, caracteriza-se como um *software* que utiliza a modelagem matemática para a resolução de Problemas de Programação Linear e Não-Linear de Otimização. Para a utilização deste *software* faz-se necessário conhecimento sobre modelagem matemática, ou seja, formular o problema concisamente, resolvê-lo e analisar a solução obtida;

CPLEX da ILOG-IBM é um *software* que resolve problemas de otimização combinatória. Através da modelagem matemática os dados são inseridos para a resolução do problema;

O Visual XPRESS-MP, assim como o LINDO, são ferramentas que utilizam a modelagem e a otimização matemáticas para a resolução de problemas;

Solver do Excel faz parte de um conjunto de programas chamado de ferramenta de análise hipotética. É também bastante conhecido e usado para a resolução de problemas de programação da produção;

GLPK (GNU *Linear Programming Kit*) da GNU, é um *software* livre voltado para a resolução de problemas de programação linear (LP), bem como programação

linear inteira mista (MIP). Utiliza conceitos de modelagem para a resolução de problemas;

GAMS (*General Algebraic Modeling System*) é um *software* que fora elaborado visando solucionar problemas de programação linear e não-linear de otimização. Também utiliza os conceitos de modelagem para a resolução de problemas;

ARENA é um *software* com um ambiente gráfico integrado voltado para a simulação, bem como possui recursos para a modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados. Considerando suas características, pode ser utilizado como um simulador para o ambiente de manufatura, de forma a facilitar e auxiliar a tomada de decisão na Produção. Também é usado para efetuar análise de impacto de novas estratégias e regras a serem adotadas e implementadas no planejamento estratégico, tático e operacional de uma empresa. Este simulador disponibiliza uma versão acadêmica¹, voltada ao estudante.

O Laboratório de Simulação e Sistemas de Produção (LSSP) da UFSC desenvolveu uma série de jogos educacionais em Access nominados de LSSP_PCP, que encontram-se disponíveis na página do Laboratório de Simulação de Sistemas de Produção da UFSC².

Estes jogos foram desenvolvidos com o objetivo de auxiliar a compreensão, bem como traçar a análise dos conceitos características de um sistema de PCP para um processo de produção repetitivo em lotes dentro de um ambiente de programação da produção empurrada com sequenciamento de capacidade finita. Estes jogos visam operacionalizar os conceitos desenvolvidos no livro *Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática* (TUBINO, 2009).

No LSSP_PCP2, que faz parte desta série de jogos, estão embutidas, na sua dinâmica, as regras de decisões voltadas para o ambiente da produção. A dinâmica pode ser observada na (FIGURA 11). Por meio desta dinâmica apresentada, ficam definidos os lotes que serão liberados para a produção, para então executar a rotina de programação. Estes jogos são considerados um APS

¹ Versão acadêmica disponível em: <http://www.arenasimulation.com/Arena_Home.aspx>. Possui também uma versão comercial.

² Disponível em: <<http://www.deps.ufsc.br/lssp/>>.

(*Advanced Plannig and Scheduling*) que caracteriza-se como um sistema de programação da produção.

Os *softwares* APS são ferramentas especializadas, com foco no planejamento e programações avançadas de operações, tendo como características a produção com capacidade finita, a reprogramação, o relacionamento entre ordens, as regras de sequenciamento, entre outros.

Uma das particularidades deste *software* tangencia sua funcionalidade, porque além de ter uma capacidade de funcionamento integrada com outros *softwares*, ainda possibilita que as empresas superem suas dificuldades, permitindo o aumento de produtividade, para uma efetiva competitividade da empresa junto ao mercado. (FAÉ; ERHART, 2009)

Verifica-se conforme segue abaixo, (FIGURA 11), a dinâmica do LSSP_PCP, exposta por Tubino:

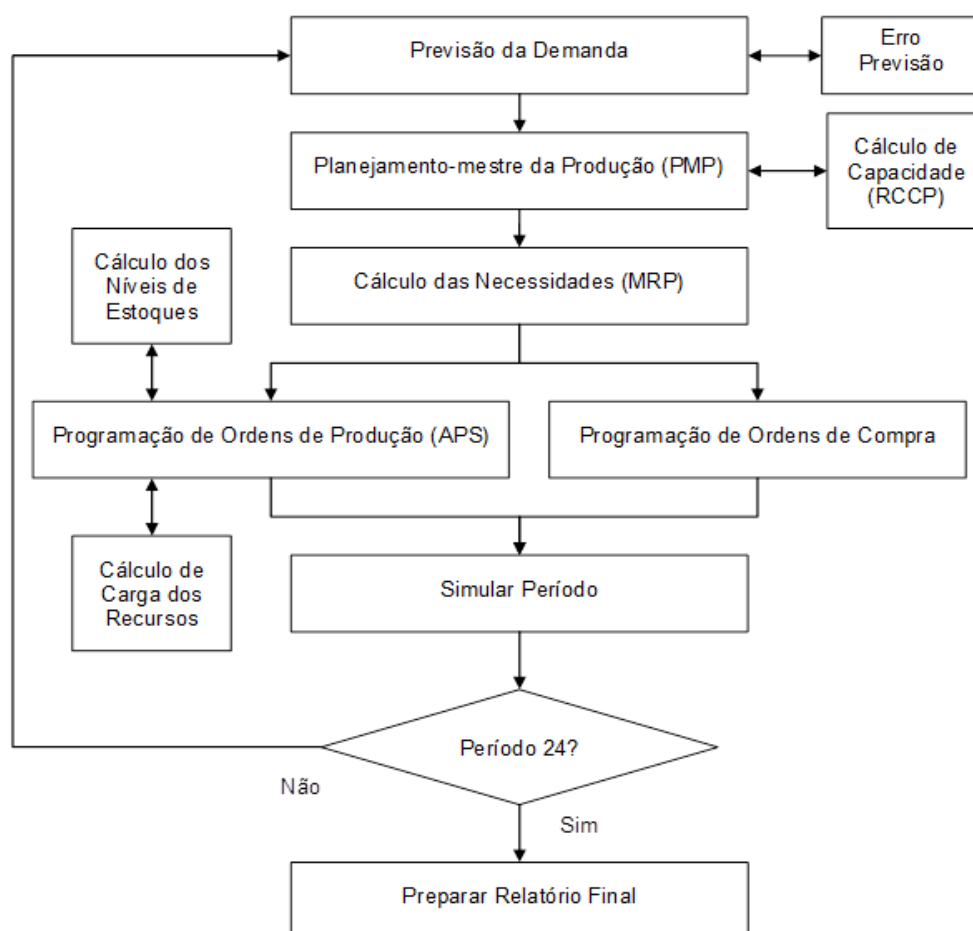


FIGURA 11 DINÂMICA DO LSSP_PCP
FONTE: TUBINO, (2009)

LEKIN (*Flexible Job-Shop Scheduling System*) configura um sistema de programação desenvolvido pela *Stern School of Business, New York University* (NYU). Partes do sistema foram projetadas e programadas pelos alunos da Universidade de Columbia (*Columbia University*) que contribuíram para que fosse criada uma ferramenta educacional, com o objetivo de introduzir os alunos na teoria da programação e suas aplicações. O desenvolvimento deste sistema (programa) foi apoiado pela *National Science Foundation* dos Estados Unidos da América e dirigido pelos Professores Michael L. Pinedo, Xiuli Chao e Joseph Leung. (AMORIM, 2009)

Este *software* possui diferentes ambientes de trabalho, onde no Menu Inicial, (FIGURA 12), o operador deve selecionar o ambiente desejado, sendo estes ambientes divididos em:

- Uma máquina – *Single Machine*;
- Máquinas Paralelas – *Parallel Machine*;
- *Flow Shop*;
- *Flexible Flow Shop*;
- *Job Shop*;
- *Flexible Job Shop*;

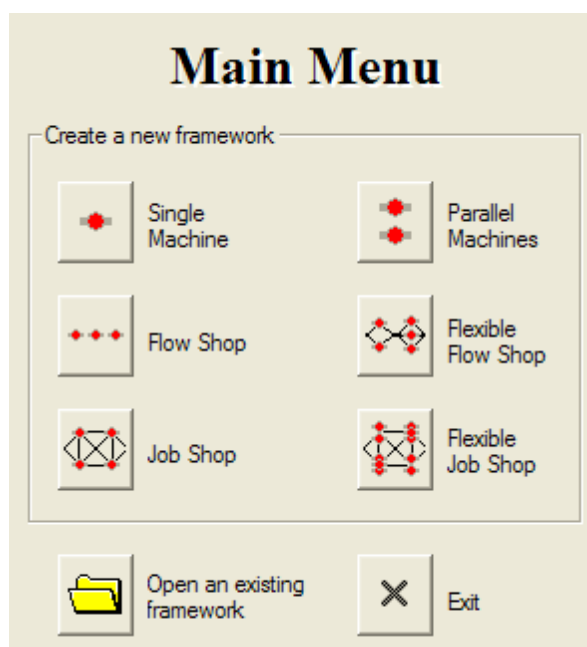


FIGURA 12 - MENU INICIAL DO LEKIN®
FONTE: AMORIM, (2009)

Além dos ambientes apresentados na (FIGURA 12), o LEKIN® dispõe de algumas Regras de Prioridade para o sequenciamento, como ferramentas gráficas, que facilitam uma análise comparativa por meio do gráfico de Gantt, sendo de fácil

inserção dos dados do problema pelo operador. Essas são algumas das funções desse *software*.

Conforme (FIGURA 13), pode-se perceber a apresentação de uma visão do *software* LEKIN® em sua versão acadêmica³. Também possui uma versão comercial denominada por *Industrial Version*, que possui um maior número de funções.

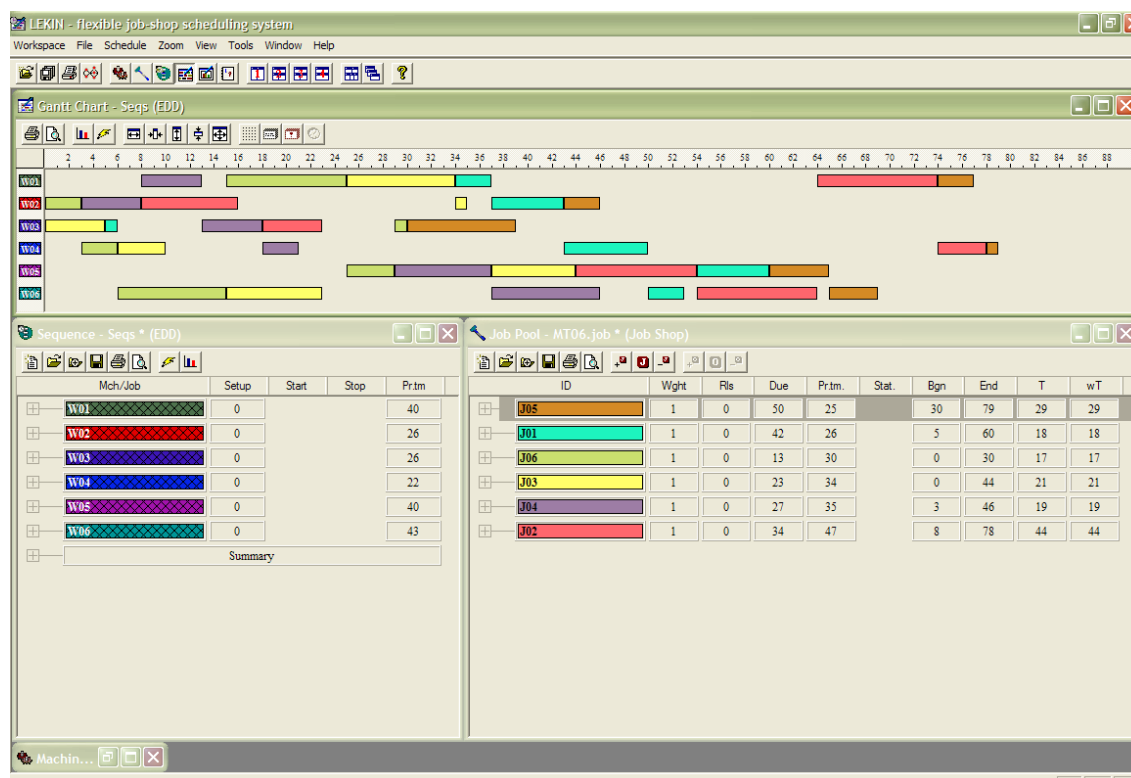


FIGURA 13 - TELA DO LEKIN FLEXIBLE JOB SHOP SCHEDULING SYSTEM
FONTE: AMORIM, (2009)

Outro *software*, desenvolvido com o foco no âmbito da Programação da Produção, é o PREACTOR. É denominado como um *software* APS, desenvolvido pela empresa inglesa *The CIMulation Centre* com a finalidade de melhorar as atividades de gestão de processos produtivos. É um *software* semiaberto que permite configurar suas funcionalidades, ou seja, adicionar e/ou excluir opções do menu conforme as necessidades. Esta exclusão permite um melhor rendimento do sistema operacional do *software*. É um *software* que possui ferramenta especializada para a Programação da Produção que permite as seguintes ações:

- Gerar e comparar programações ou programas de produção;
- Reprogramar operações e ordens de produção;

³ Esta versão está disponível em: <<http://www.stern.nyu.edu/om/software/lekin/index.htm>>.

- Calcular prazos de execução;
- Estimar datas de entrega;
- Avaliar a utilização de recursos;
- Acompanhar o andamento da produção.

Dentre as funções deste *software*, destaca-se o ambiente gráfico apresentado para realizar o sequenciamento de tarefas, bem como os recursos a serem utilizados. Este sequenciamento é apresentado por meio do diagrama de Gantt, conforme apresentado na (FIGURA 14):

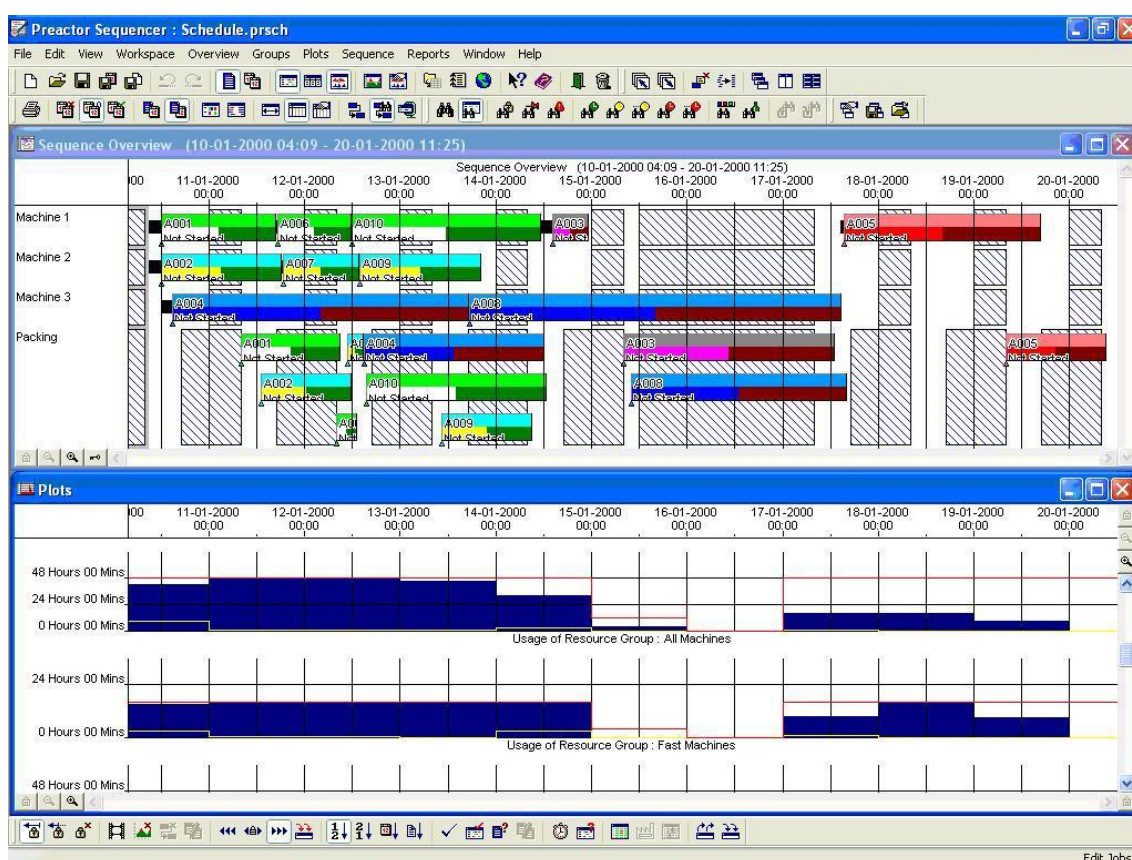


FIGURA 14 – EXEMPLO DE INTERFACE DO PREACTOR
FONTE: AMORIM, (2009)

O *software* OPT (*Optimized Production Technology* – Tecnologia de Produção Otimizada), elaborado nos Estados Unidos no final dos anos 70, sendo desenvolvido e divulgado pelo físico Israelense Eliyahu Goldratt. O OPT é uma técnica desenvolvida para auxiliar a programação de sistemas produtivos. Centra-se em um sistema para gestão da produção com foco na identificação e gerenciamento dos recursos considerados como gargalo. No âmbito do PCP é considerada uma forte ferramenta devido a suas importantes características, tais como, flexibilidade do

sistema produtivo, capacidade de simulação da produção e o funcionando por meio de procedimentos heurísticos, portanto não garante solução ótima. Esta é uma tecnologia proprietária, portanto o seu uso é restrito à aquisição de uma licença.

Este *software* possui algumas limitações como:

- É um sistema que centraliza a tomada de decisões, ou seja, não permite a descentralização das decisões operacionais para o chão de fábrica;
- É um método que implica em mudanças, por isso pode haver resistências à sua adoção;
- Alto custo para a sua implantação;
- Exige constantes atualizações e manutenção, criando uma dependência da empresa com o seu fornecedor ao adquiri-lo.

A aplicação do princípio básico desta técnica, que é identificar o gargalo no processo produtivo, pode auxiliar a empresa a entender melhor o seu processo produtivo, de tal maneira que esta possa utilizar o máximo da sua capacidade produtiva, quando necessário.

Lopes (2009) desenvolveu um *software* para sequenciamento de máquinas, específico para sistema de produção de produtos similares à indústria moveleira (*Job Shop Scheduling*). No seu desenvolvimento foram implementadas algumas regras de despacho e também alguns algoritmos de sequenciamento.

As regras de despacho implementadas no seu desenvolvimento foram:

- Menor data de entrega;
- Maior tempo de processamento;
- Menor tempo de processamento;
- Primeiro que chega é o primeiro que sai;
- Menor diferença entre a data de entrega e o tempo de processamento.

Os algoritmos implementados foram:

- GRASP: Este algoritmo gera uma solução inicial e a considera até ser encontrada outra melhor. Depois é realizada uma busca local a fim de buscar uma solução melhor que a anterior;
- *Shifting Bottleneck*, é um algoritmo heurístico que consiste em sequenciar as máquinas várias vezes, visa a melhora no sequenciamento da máquina considerada como gargalo.

Percebe-se, conforme fluxograma abaixo (FIGURA 15), o funcionamento real deste algoritmo:

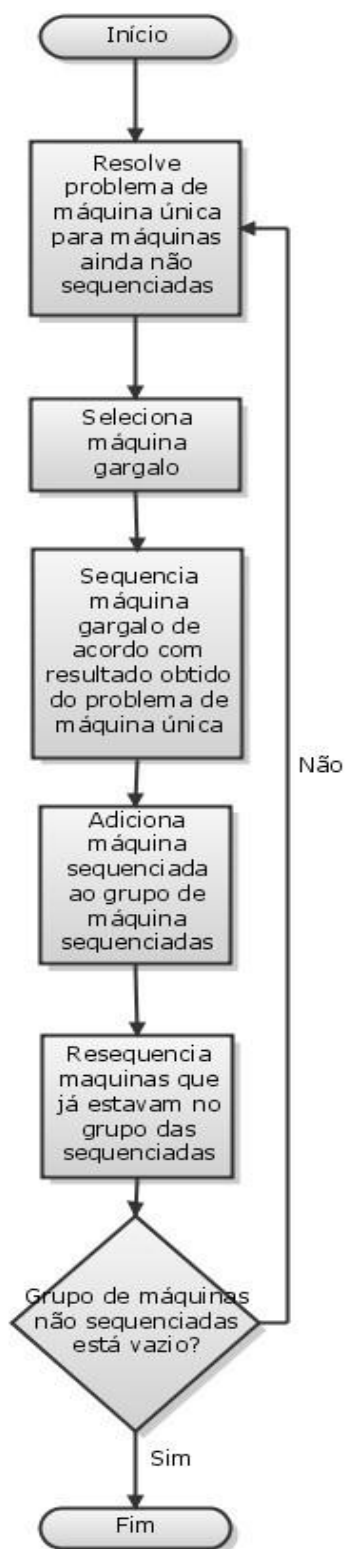


FIGURA 15 – FLUXOGRAMA QUE ILUSTRA O *SHIFTING BOTTLENECK*
FONTE: LOPES, (2009)

O *software* desenvolvido por Lopes (2009) foi chamado de MSM (Módulo de Sequenciamento de Máquina). Verifique-se, abaixo, fluxograma deste *software* apresentado com seu funcionamento (FIGURA 16):



FIGURA 16: FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO MSM
FONTE: LOPES, 2009

Denota-se, com a interpretação do fluxograma apresentado, FIGURA 16, que o usuário deve selecionar o problema a ser resolvido. As informações do problema são cadastradas ou carregadas manualmente de um banco de dados SGI (Sistema de Gestão Integrado) pelo usuário, para em seguida definirem o problema de sequenciamento. Após a inserção dos dados, o usuário deve selecionar qual regra ou algoritmo irá utilizar. Selecionado a regra ou o algoritmo, este receberá os dados carregados do problema para então definir a operação que será realizada e em qual célula de trabalho será processada, respeitando os roteiros de processamento e a disponibilidade das células.

Conforme (FIGURA 17) percebe-se a interface pela qual o usuário pode visualizar as operações que foram carregadas, bem como a data de término, hora e prioridade. Também é possível carregar uma nova operação, editar, remover, selecionar as células de trabalho, produtos, processos, matérias, entre outros.

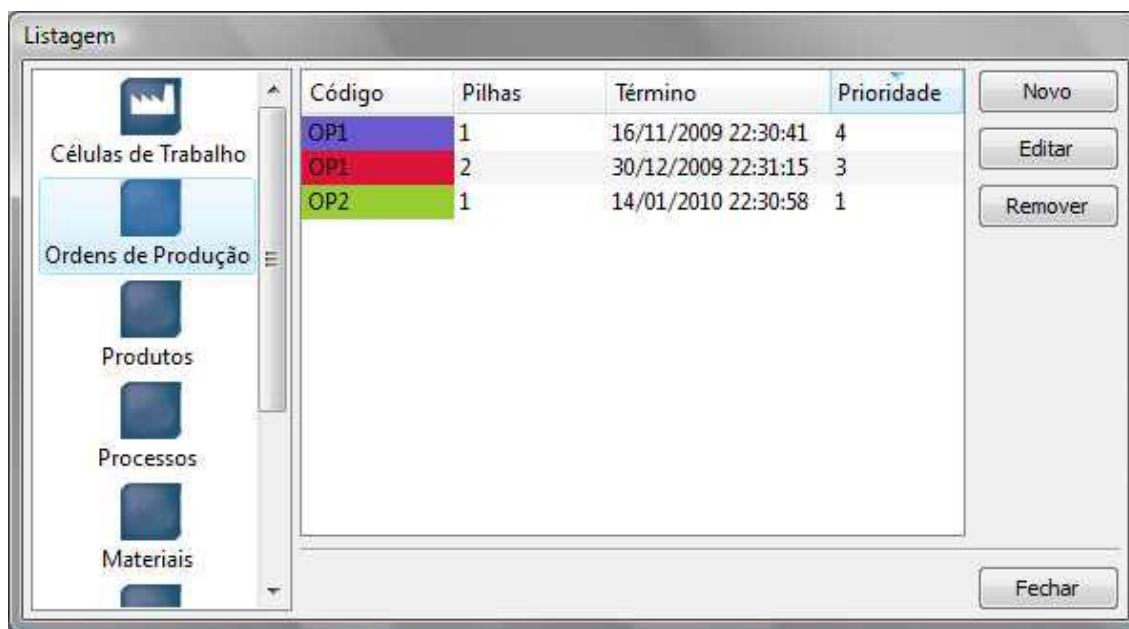


FIGURA 17 – VISUALIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES
FONTE: LOPES, (2009)

Depois de realizado o sequenciamento, a solução gerada fora apresentada ao usuário por meio do gráfico de Gantt, exposto na (FIGURA 18).

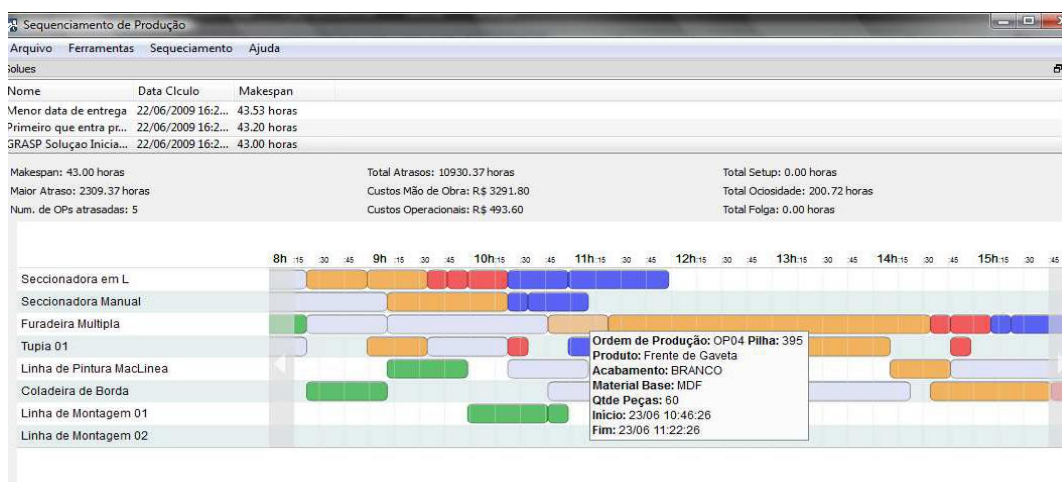


FIGURA 18 – GRÁFICO DE GANTT GERADO A PARTIR DE UMA SOLUÇÃO GRASP
FONTE: LOPES, (2009)

O gráfico representa a sequência em cada máquina, sendo cada linha a representação de uma máquina. Cada gomo colorido configura uma pilha sendo processada em determinada máquina, num intervalo de tempo. Também são apresentadas outras informações como *makespan* (tempo total de processamento), maior atraso, número de operações atrasadas, total de atrasos, custos operacionais, custo de mão de obra, etc.

Os *softwares* apresentados, no decorrer deste subitem, configuram uma diversidade de características e especificidades, que tornam possíveis a melhoria em curto prazo, ou seja, no planejamento operacional onde se encontra a programação da produção. Alguns têm maior ênfase na Pesquisa Operacional, enquanto outros focam-se na Programação da Produção, porém todos visam melhorias fundamentais para o ambiente de otimização da produção, bem como o aumento da competitividade de empresas, de forma a fornecer, ao programador, uma visão geral relativa às tarefas, operações, recursos e a sua diversidade de utilização.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo objetiva a descrição do delineamento da pesquisa, de forma a classificar a tipicidade da pesquisa e destacar os procedimentos adotados para o devido desenvolvimento.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Uma pesquisa científica tem como objetivo contribuir para o conhecimento humano, conforme verifica-se em Gil:

Pode-se definir uma pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. (GIL, 2002)

Verifica-se em Gil (2002) a definição de que a pesquisa é a maneira ou a forma de se pensar para chegar, por meio de critérios, a um determinado problema com a intenção de explicá-lo. Estas pesquisas podem ser classificadas quanto aos seus objetivos, sendo divididas em três grupos:

- Pesquisa Exploratória
- Pesquisa Descritiva
- Pesquisa Explicativa

Exploratória: normalmente é o primeiro passo de um trabalho científico, porque proporciona maiores informações sobre o tema a ser estudado podendo assumir a forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso.

Descritiva: tem como objetivo principal descrever características de determinada população, fenômeno ou processo. É realizada por meio de levantamento, observações, análise, classificação e interpretação de dados.

Explicativa: objetiva procurar e identificar os fatores determinantes, ou seja, suas causas. Este tipo de pesquisa é uma continuação da pesquisa descritiva.

No tangente à natureza, a pesquisa pode ser classificada em:

- Básica: aquela que busca gerar novos conhecimentos sem preocupação com uma aplicação prática;
- Aplicada: que procura gerar novos conhecimentos e por meio deles solucionar problemas específicos.

Uma pesquisa também pode ser classificada quanto a forma de abordagem do problema, ou seja, quantitativa. Este tipo de pesquisa busca quantificar informações e transformá-las em números e informações para depois analisá-las e classificá-las.

Para Miguel (2010) a metodologia de pesquisa, no âmbito da engenharia de produção, normalmente é baseada em modelagem quantitativa com ênfase em Pesquisa Operacional. Destaca ainda a importância dos modelos matemáticos e de simulação voltados para esta metodologia de pesquisa.

Diante do exposto, esta pesquisa pode ser classificada conforme exposto abaixo na (TABELA 3).

Classificação	Tipologia
Natureza	Pesquisa Aplicada
Abordagem	Pesquisa Quantitativa
Objetivo	Pesquisa descritiva / explicativa
Método	Modelagem e Simulação

TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA
FONTE: O AUTOR

Atualmente, há uma busca por métodos, procedimentos e ferramentas que aumentem a produtividade e qualidade dos produtos. A partir desta necessidade, foram elaboradas ferramentas computacionais para que, além de estimular o desenvolvimento dos conceitos adquiridos em sala de aula, possam também estimular as habilidades pessoais, com a resolução de diferentes exemplos criados aleatoriamente ou especificadamente para avaliar os métodos.

A metodologia adotada para o desenvolvimento das ferramentas computacionais é apresentada a seguir.

Primeiramente foi realizada a revisão bibliográfica sobre o sequenciamento da produção, entendendo o ambiente onde está inserida, para então traçar o desenvolvimento das ferramentas computacionais e o sequenciamento de produção.

Depois, definiu-se o ambiente computacional a ser utilizado para o desenvolvimento.

Em seguida foi definida a funcionalidade da ferramenta, como fazer e apresentar as soluções.

Realizaram-se testes, de modo a verificar se as heurísticas implementadas funcionavam corretamente, bem como se as mesmas atendem ao que foi especificado nos objetivos.

O desenvolvimento da parte gráfica do programa acopla-se na sequência, trazendo as soluções geradas, devidamente apresentadas em gráficos denominados de gráfico de Gantt.

Novos testes foram realizados para analisar se os gráficos estão sendo apresentados de maneira correta, de forma didática e coerente com os exemplos utilizados.

Avaliou-se se a interface apresentada para o usuário atende as necessidades didáticas em um ambiente de aprendizagem por meio da apresentação dos resultados para alguns usuários. A interface do usuário é o mecanismo pelo qual se estabelece um diálogo entre o programa (*software*) e o ser humano.

Durante o desenvolvimento desta ferramenta tecnológica buscou-se resolver os problemas propostos no objetivo, apresentando respostas viáveis, visando a diminuição do tempo de forma simples e didática. Buscou-se também minimizar erros durante o seu desenvolvimento, porém nenhum programa preenche completamente os requisitos necessários para a eliminação de problemas durante o processo.

4 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA AUXÍLIO NO ENSINO SOBRE SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO

Este capítulo é reservado para apresentar o funcionamento das duas ferramentas desenvolvidas para auxiliar no ensino sobre o sequenciamento da produção, um dos assuntos tratados na programação da produção.

A primeira ferramenta desenvolvida é voltada para a resolução dos problemas de sequenciamento considerando n tarefas a serem processadas em uma única máquina. A segunda ferramenta desenvolvida visa à resolução de problemas que envolvem o processamento de n tarefas em duas e três máquinas.

Cada programa apresenta peculiaridades e limitações próprias, que serão discutidas concomitantemente com o funcionamento de cada programa.

Os programas foram desenvolvidos em Visual Studio 2012.

4.1 PROBLEMA DE N TAREFAS A SEREM SEQUENCIADAS EM UMA ÚNICA MÁQUINA

Como retratado, na revisão bibliográfica, o problema do sequenciamento de n tarefas em uma única máquina apresenta uma grande complexidade e para resolvê-los de maneira mais rápida, heurísticas foram utilizadas. No programa, constam implementadas quatro diferentes heurísticas usadas para a resolução do problema de sequenciamento da produção, também nominadas de métodos de sequenciamento, sendo elas: PEPS (Primeiro que Entra Primeiro que Sai), MDE (Menor Data de Entrega), MTP (Menor Tempo de Processamento) e RC (Razão Crítica). Como apresentado no capítulo dois, existem outras heurísticas, porém estas são as mais utilizadas, conforme apresenta a bibliografia sobre o sequenciamento da produção.

O programa apresenta uma limitação operacional de no máximo 20 tarefas, pois ao exceder estas 20 tarefas não são apresentadas na tela de maneira didática,

não sendo possível observar o que acontece com cada uma após o seu processamento.

Ao acessar o programa, a tela exibida é a que está apresentada conforme (FIGURA 19). A explicação geral é vista em seguida.

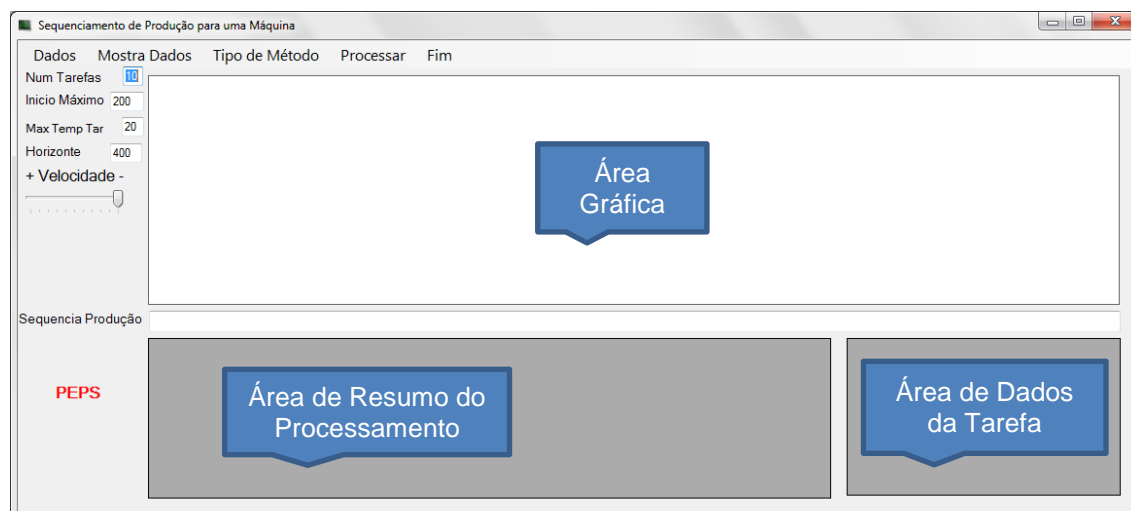


FIGURA 19 – INTERFACE DO PROGRAMA PARA O SEQUENCIAMENTO DE UMA MÁQUINA COM AS SUAS RESPECTIVAS ÁREAS IDENTIFICADAS
FONTE: O AUTOR

Primeiramente serão explicadas as funções exibidas no lado esquerdo da tela, sendo elas: **Num Tarefas**, **Início Máximo**, **Max Tem Tar**, **Horizonte**, **Velocidade** e **Sequência Produção**. Em seguida serão explicadas as funções apresentadas no menu que são: **Dados**, **Mostra Dados**, **Tipo de Método**, **Processar** e **Fim**.

Na primeira caixa deve-se inserir o número de tarefas desejadas, acordando que o número máximo de tarefas limita-se a 20.

Gerar aleatoriamente as tarefas caracteriza-se como de difícil implementação, poder-se-ia gerar então, uma data prometida aleatória para depois gerar um tempo aleatório para o tempo de processamento, no entanto isto poderia implicar em problemas, por exemplo, se a data prometida fosse 12 e o tempo de processamento fosse 14 isto implicaria na realização de uma tarefa antes do planejamento, o que não é razoável. Para solucionar este problema a data prometida é calculada como sendo um número aleatório (chamado de data de início da tarefa) mais um tempo de processamento aleatório, assim feito garante-se que o problema de início da tarefa menor que zero não ocorra.

A caixa de texto de **Início Máximo** indica o valor máximo gerado aleatoriamente, explicado no parágrafo anterior, nela deve-se inserir o valor limite desejado, neste caso encontra-se em 200, isto significa que podem ser gerados números entre zero e 200. Por exemplo, considerando um tempo de processamento de 22 e a tarefa é iniciada em 192, isto significa que a tarefa deverá estar pronta em 214.

A próxima caixa de texto **Max Temp Tar** é o tempo máximo gerado aleatoriamente para o tempo de processamento de uma tarefa. O valor inserido, no exemplo, é 20 (FIGURA 19), levando-se em consideração este valor, o programa irá gerar números aleatórios entre zero e 20. Como não pode existir um tempo de processamento zero o programa irá somar 3 unidades a este número gerado, sendo assim, será gerado um número aleatório entre 3 e 20 para os tempos de processamento das tarefas.

A consequência é que a data prometida terá como limitante máximo a soma entre **Max Temp Tar** e **Início Máximo**, no exemplo 220.

O (**Horizonte**) é um número que deve ser inserido para dimensionar o tamanho da tela, no qual define-se o espaço onde será apresentado o gráfico das tarefas e seus processamentos. Dependendo do número de tarefas faz-se necessário o aumento ou diminuição deste valor, a fim de obter um melhor dimensionamento do gráfico na tela. Em conformidade ao exemplo o número 400, indica que aproximadamente 400 dias serão mostrados na tela. O Valor é aproximado porque o programa faz ajustes para mostrar a resposta de maneira clara.

Para facilitar a visualização do que acontece com cada tarefa, no momento do processamento, foi inserida a possibilidade de aumento ou diminuição da velocidade. Para a esquerda aumenta-se a velocidade e para direita diminui-se a velocidade. Esta opção é bastante útil dependendo do objetivo, caso este seja somente resolver o problema, basta acelerar o processo, caso tenha cunho didático, basta diminuir a velocidade, de forma a permitir uma análise do que acontece com determinada tarefa em determinado momento.

Abaixo do controle da velocidade é apresentada uma caixa de texto onde é exibida a sequência de produção gerada, esta sequência é apresentada após o sequenciamento, de acordo com o método escolhido, verifica-se que a sigla do método é apresentada logo abaixo em coloração vermelha.

No retângulo em branco tem-se a **Área Gráfica**, onde são apresentadas as tarefas geradas e também, o que acontece com cada tarefa durante o seu processamento. No retângulo maior, em cinza, tem-se a **Área de Resumo de Processamento**, nela são apresentados os dados referentes ao processamento das tarefas conforme método escolhido, em relação ao retângulo menor, de cor cinza, tem-se a **Área de Dados da Tarefa**, nela são apresentados os dados de cada tarefa, para isto basta clicar em cima da tarefa desejada. Estas situações apresentadas serão melhor compreendidas e visualizadas quando do desmembramento e explicação de cada tela do programa.

Observa-se na (FIGURA 20) as opções do menu **Dados**, que são quatro, conforme descritas a seguir:



FIGURA 20 – INTERFACE COM AS OPÇÕES DO MENU DADOS
FONTE: O AUTOR

Na opção, **Ler Arquivo**, o programa busca o arquivo e faz a leitura dos dados contidos nele. Estes dados devem estar digitados em um arquivo do bloco de notas e inseridos de forma correta, para que o programa leia os dados sem equívocos. A inserção dos dados invertidos ocasionará em outro problema, que pode, inclusive, ocasionar erro no programa, tal sequência é exposta na (FIGURA 21).

Cada linha é interpretada como uma tarefa, no exemplo trazido, são representadas seis linhas, logo se define que o problema possui seis tarefas. Os valores da primeira linha se relacionam com a primeira tarefa a ser processada, a segunda linha se relaciona com a segunda tarefa, a terceira linha com a terceira

tarefa e assim sucessivamente. O primeiro valor constante na linha se refere ao tempo de processamento da tarefa, o segundo representa a data prevista para a entrega do produto e o terceiro simboliza o tipo de produto a ser processado.

A vantagem de ter a opção **Ler Arquivo** funda-se na possibilidade de resolução de problemas específicos digitados pelo usuário, visto que o programa não permite edição direta de dados. Cria-se portanto um arquivo com os dados da tarefa a ser processada, para em conseqüente salvar os dados e clicar em **Ler Arquivo**, para buscar o local em que o arquivo foi salvo. Os dados serão carregados no programa e em seguida sequenciados conforme o método selecionado.

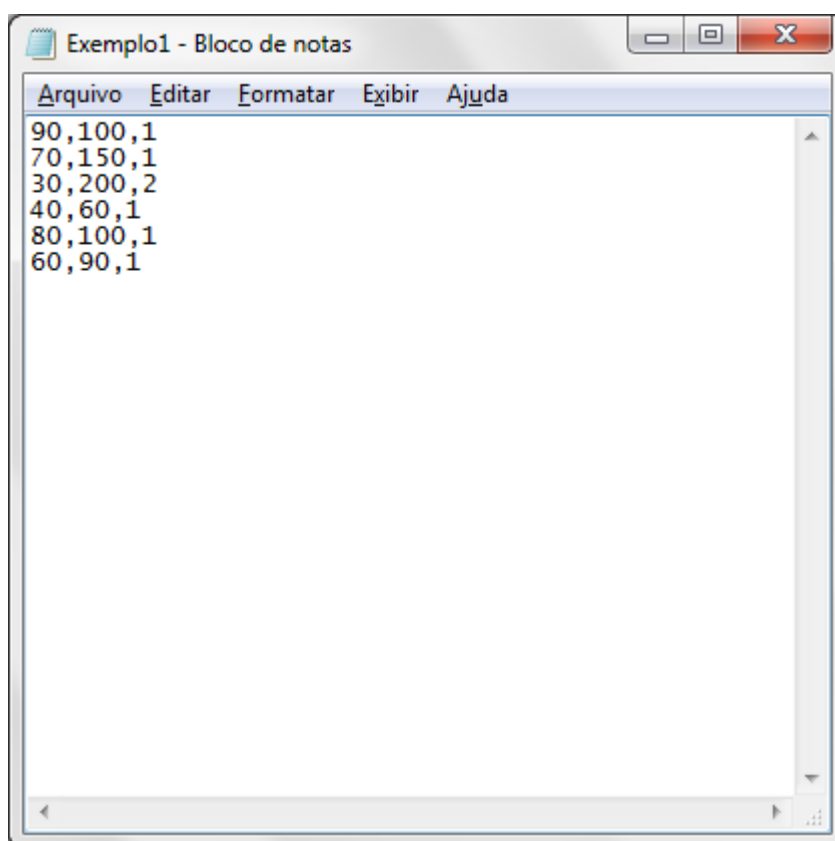


FIGURA 21 – EXEMPLO DE ARQUIVO NO BLOCO DE NOTAS
FONTE: O AUTOR

A opção **Criar Randômico**, (FIGURA 22), possibilita a criação de tarefas aleatórias, conforme o número inserido na caixa de texto **Num Tarefas**, atentando-se para os parâmetros explicados anteriormente. **Num Tarefas** é o número de tarefas desejadas. Por exemplo, inserindo o número 10 em **Num Tarefas** para em seguida clicar em **Criar Randômico**, (FIGURA 22), serão criadas dez tarefas aleatoriamente na cor roxa e o tamanho máximo de cada tarefa será gerado de

acordo com o valor do tempo de processamento inserido na caixa de texto **Max Temp Tar**, conforme apresentado na (FIGURA 23).

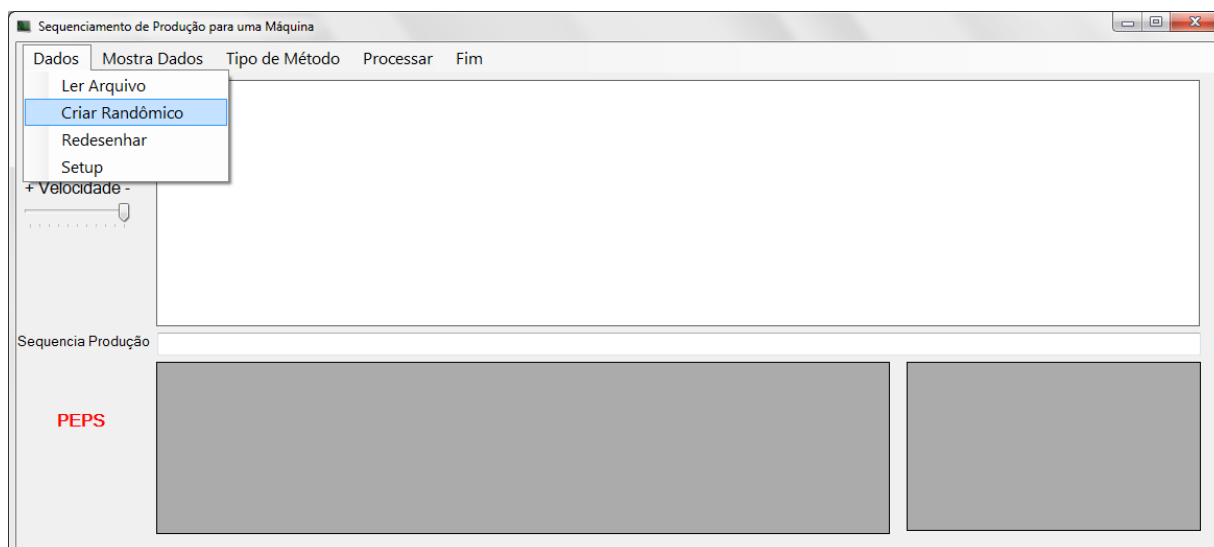


FIGURA 22 – INTERFACE INDICANDO A SEGUNDA OPÇÃO DO MENU
FONTE: O AUTOR

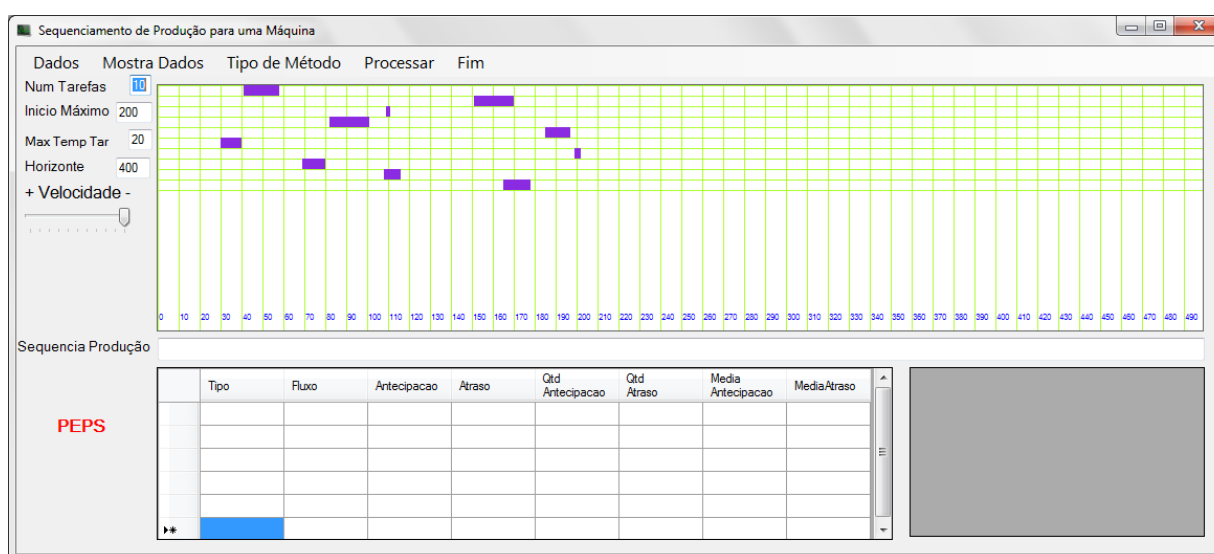
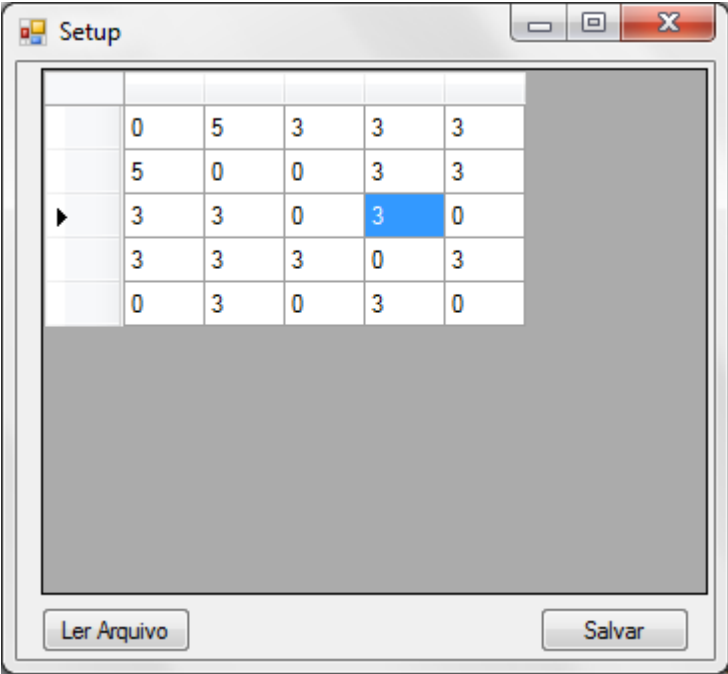


FIGURA 23- INTERFACE COM AS TAREFAS GERADAS ALEATORIAMENTE
FONTE: O AUTOR

Tem-se na opção **Redesenhar** a possibilidade de se redesenhar as mesmas tarefas geradas no exemplo usando os valores indicados na caixa de texto **Horizonte**. Desta forma, possibilita observar novamente a posição inicial em que as tarefas foram geradas e redimensionar a tela para se obter uma melhor visualização.

Verifica-se que a última opção do menu **Dados** é a opção **Setup**.

Nela apresenta-se uma matriz 5x5 com os tempos de *setup* para cada tipo de produto conforme apresentado na (FIGURA 24).



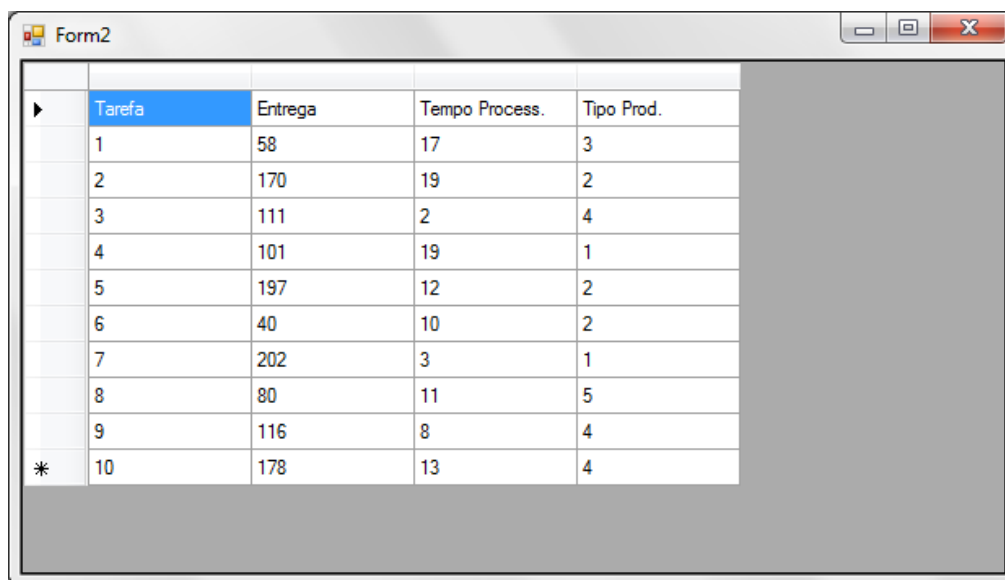
	0	5	3	3	3
	5	0	0	3	3
▶	3	3	0	3	0
	3	3	3	0	3
	0	3	0	3	0

FIGURA 24 – MATRIZ SETUP
FONTE: O AUTOR

Sempre aparecerão os tempos de *setup* referentes a cinco tipos de produtos, isto ocorre porque o programa foi limitado ao número de produtos em cinco.

Os valores de *setup* conforme expressos na (FIGURA 24), foram criados em um arquivo do bloco de notas. Para visualização destes tempos de *setup*, basta clicar em **Ler Arquivo** e os dados serão apresentados. Caso seja necessário alterar algum dado desta matriz *setup*, basta inserir o valor desejado na posição correspondente a troca do tipo de produto, como exemplo tem-se o tempo de *setup* para a troca do produto três para o produto quatro é 3, nesta posição, basta inserir o novo valor de *setup* desejado para esta troca de produto e em seguida salvar estes novos dados. Feito isto, realiza-se o novo sequenciamento conforme o método desejado, para se fazer uma análise do novo sequenciamento gerado com a alteração de *setup*. Esta é uma função importante, pois permite simular o tempo de *setup* para a troca de determinado produto, bem como analisar se a troca é ou não viável.

O menu seguinte representa o **Mostra Dados**, neste formulário são apresentados os dados referentes ao exemplo gerado, tais como, número de tarefas a serem processadas, data de entrega, tempo de processamento de cada tarefa e o tipo de produto conforme apresentado na (FIGURA 25).



	Tarefa	Entrega	Tempo Process.	Tipo Prod.
	1	58	17	3
	2	170	19	2
	3	111	2	4
	4	101	19	1
	5	197	12	2
	6	40	10	2
	7	202	3	1
	8	80	11	5
	9	116	8	4
*	10	178	13	4

FIGURA 25 – FORMULÁRIO COM OS DADOS DAS TAREFAS GERADAS
FONTE: O AUTOR

Estes dados apresentados (FIGURA 25) referem-se ao exemplo gerado e representado na (FIGURA 23).

A próxima opção no menu configura o **Tipo de Método**, nesta opção apresentam-se os tipos de métodos implementados conforme apresenta a (FIGURA 26).

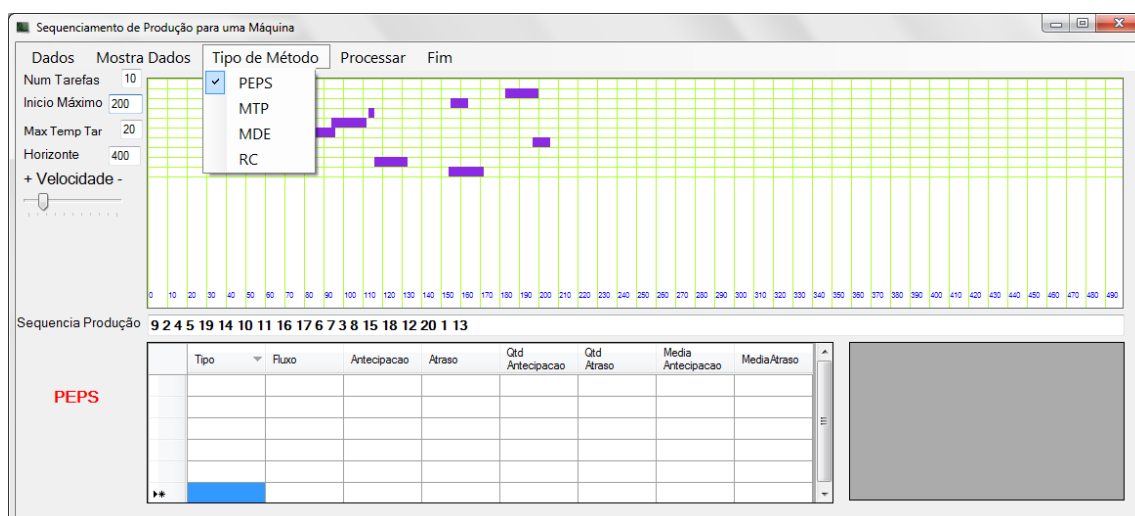


FIGURA 26 – TIPOS DE MÉTODOS DISPONÍVEIS
FONTE: O AUTOR

Para selecionar o método desejado, basta clicar na opção correspondente.

O menu seguinte refere-se ao **Processar**, clicando nesta opção o sequenciamento escolhido anteriormente será executado. Em seguida podem-se observar os gráficos das tarefas após o processamento na **Área Gráfica**, conforme apresenta a (FIGURA 27).

Os dados de processamento, como tipo de método, fluxo, antecipação, atraso, quantos dias a tarefa foi antecipada ou atrasada, média de antecipação e atraso, são apresentados na Área de Resumo do Processamento. Este procedimento encontra-se apresentado na (FIGURA 27).

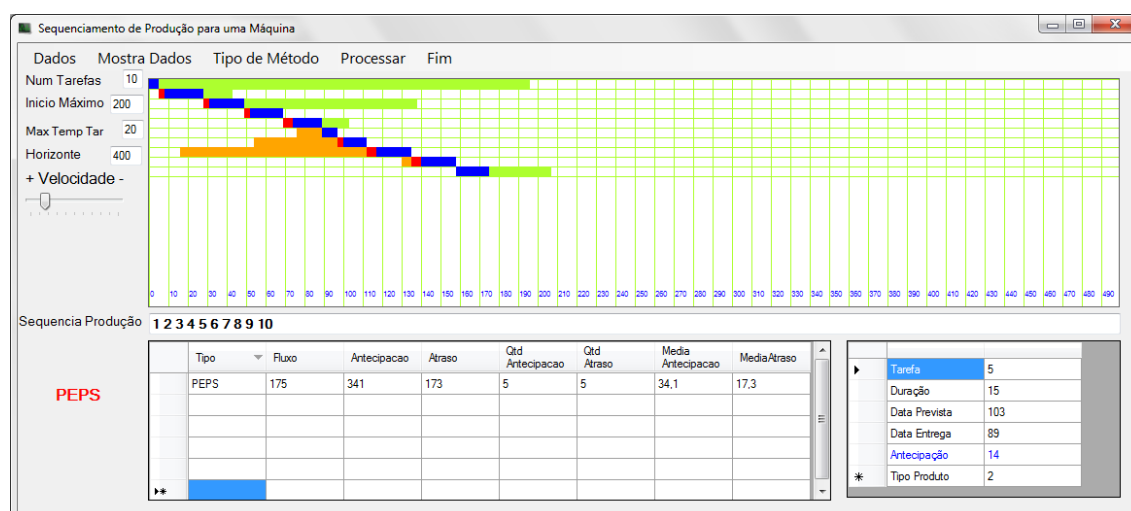


FIGURA 27 – SEQUENCIAMENTO DAS TAREFAS APÓS O PROCESSAMENTO USANDO O MÉTODO PEPS
FONTE: O AUTOR

Como apresentado na (FIGURA 27), o método selecionado refere-se ao PEPS, as tarefas após processadas mudam para a cor azul e são deslocadas para os locais correspondentes do processamento específico. Os tempos de *setup* são representados na cor vermelha, isto significa que a tipagem do produto fora alterada. A cor verde simboliza que a tarefa foi antecipada, a cor alaranjada significa que a tarefa foi atrasada. Caso seja necessário saber os dados de uma tarefa específica, clica-se na tarefa em questão e, em seguida os dados serão apresentados na Área de Dados da Tarefa, no exemplo, os dados referem-se a tarefa 5, como apresenta na (FIGURA 27).

Para fazer a comparação de dados gerados com outro método, primeiro seleciona-se outro método e realiza-se o processamento novamente, no caso, será selecionado o próximo método, o MTP, para em seguida clicar em **Processar**.

Após realizar o procedimento descrito, observa-se o processamento das tarefas e os dados gerados por este método, conforme configura-se na (FIGURA 28).

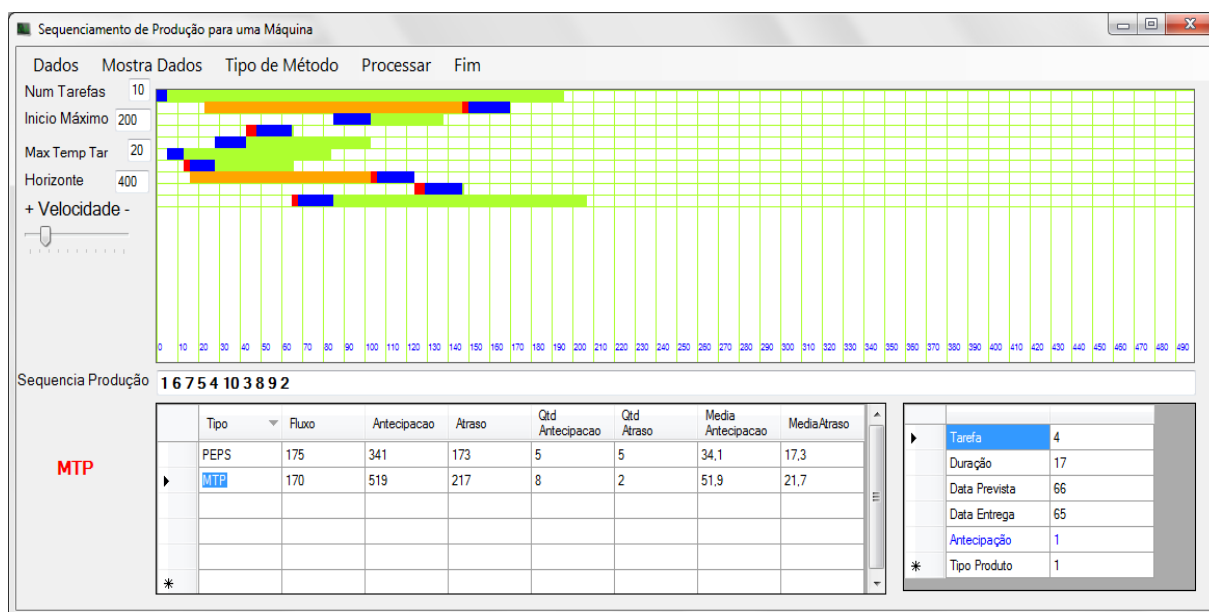


FIGURA 28 - SEQUENCIAMENTO DAS TAREFAS APÓS O PROCESSAMENTO USANDO O MÉTODO MTP
FONTE: O AUTOR

Da mesma maneira, são apresentadas as tarefas antecipadas na cor verde, as atrasadas na cor alaranjada e onde há troca de produtos, ocorre o *setup* na cor vermelha.

Os dados referentes ao processamento com a utilização da regra MTP, bem como a sequência gerada, são apresentados nas áreas destinadas para estas informações, **Área de Dados da Tarefa**, conforme o exemplo, encontram-se apresentados os dados da tarefa 4. A utilização deste método reduziu para duas tarefas atrasadas enquanto que, com a utilização do PEPS cinco tarefas são atrasadas, logo, se o objetivo é minimizar o número de tarefas atrasadas o MTP obteve melhor desempenho que o PEPS.

O próximo método a ser selecionado é o MDE, o procedimento para o processamento ocorre conforme descrito nos exemplos anteriores e o seu processamento está apresentado na (FIGURA 29).

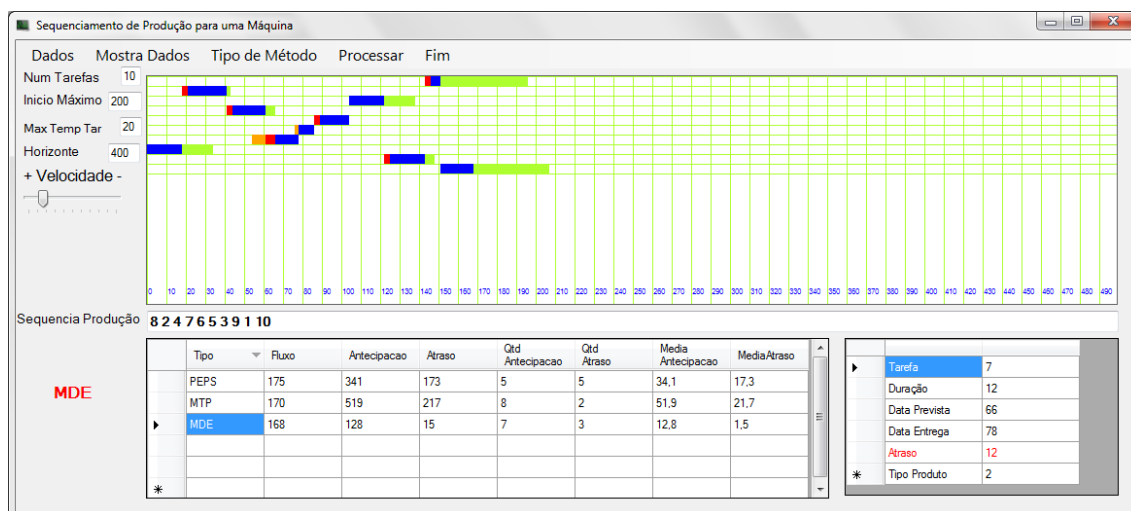


FIGURA 29 - SEQUENCIAMENTO DAS TAREFAS APÓS O PROCESSAMENTO USANDO O MÉTODO MDE
FONTE: O AUTOR

Observando-se os dados de processamento na Área de Resumo de Processamento denota-se que ocorreu um aumento no número de tarefas atrasadas, elevando-se para três. Considerando o objetivo em minimizar o número de tarefas atrasadas, este método não obteve, portanto, um resultado melhor que o método MTP.

A última opção do menu é o método RC, seu desempenho no processamento está apresentado na (FIGURA 30).

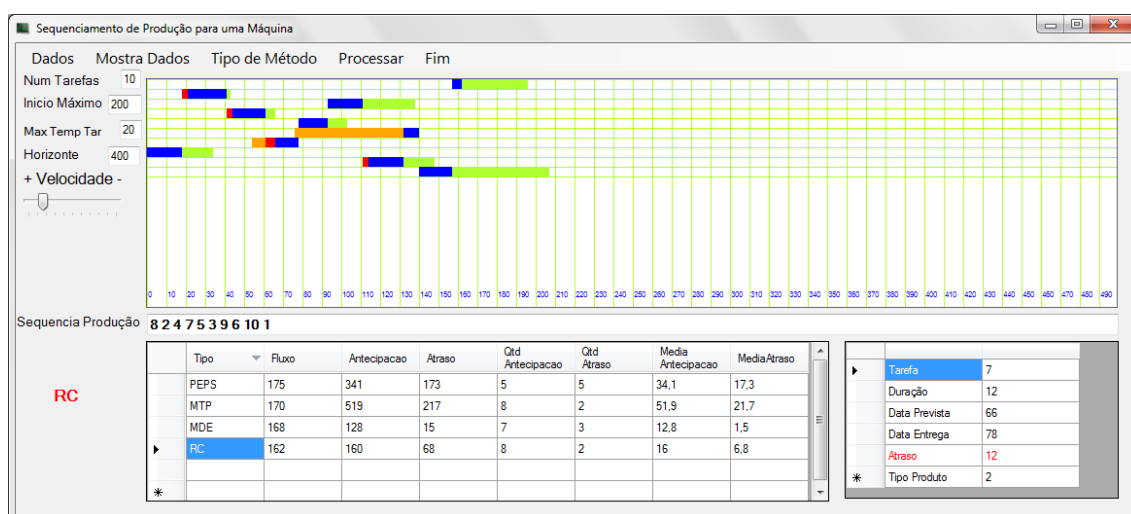


FIGURA 30 - SEQUENCIAMENTO DAS TAREFAS APÓS O PROCESSAMENTO USANDO O MÉTODO RC
FONTE: O AUTOR

O processamento com a utilização deste método não obteve melhor resultado que o método MTP em relação à quantidade de dias de atraso.

Levando-se em consideração o tempo de fluxo das tarefas, a fim de liberar a tarefa mais rapidamente e por decorrência reduzir o estoque, o melhor desempenho foi o obtido pela RC. Com todos estes dados obtidos, em um baixo tempo, torna-se possível ao usuário do programa, analisar os dados para escolher qual é o melhor método a ser utilizado de acordo com a especificidade da empresa.

Para sair do programa clica-se em **Fim** que é a última opção apresentada no menu.

O próximo passo é explicar o sequenciamento de n tarefas a serem processadas em duas máquinas. A seguir é apresentada a referida explicação.

4.2 PROBLEMA DE N TAREFAS A SEREM SEQUENCIADAS EM DUAS MÁQUINAS

Neste momento é explicado o programa e suas funcionalidades para resolução do problema de sequenciamento de n tarefas a serem processadas em duas máquinas. O método implementado para a resolução deste problema de sequenciamento, foi o Algoritmo de Johnson, explicado na revisão bibliográfica.

O programa apresenta uma limitação operacional de no máximo 20 tarefas, pois ao exceder este número as tarefas não são apresentadas na tela de maneira adequada, não sendo possível a observância do que acontece com cada uma após seu sequenciamento. O ideal é inserir, na caixa de texto, no máximo 10 tarefas para que se tenha uma boa visualização, nos gráficos, do sequenciamento das n tarefas.

Ao acessar o programa, a interface exibida é apresentada na (FIGURA 31). A explicação geral com as suas respectivas funções é vista em seguida.

Primeiramente são apresentadas as áreas destinadas às informações, tais como: Área de dados das tarefas, área de dados de processamento e a área gráfica.

A área de dados das tarefas é o local destinado a apresentar os tempos de processamento de cada tarefa, em suas respectivas máquinas.

A área gráfica destina-se para apresentação dos gráficos das tarefas durante e após seus respectivos sequenciamentos.

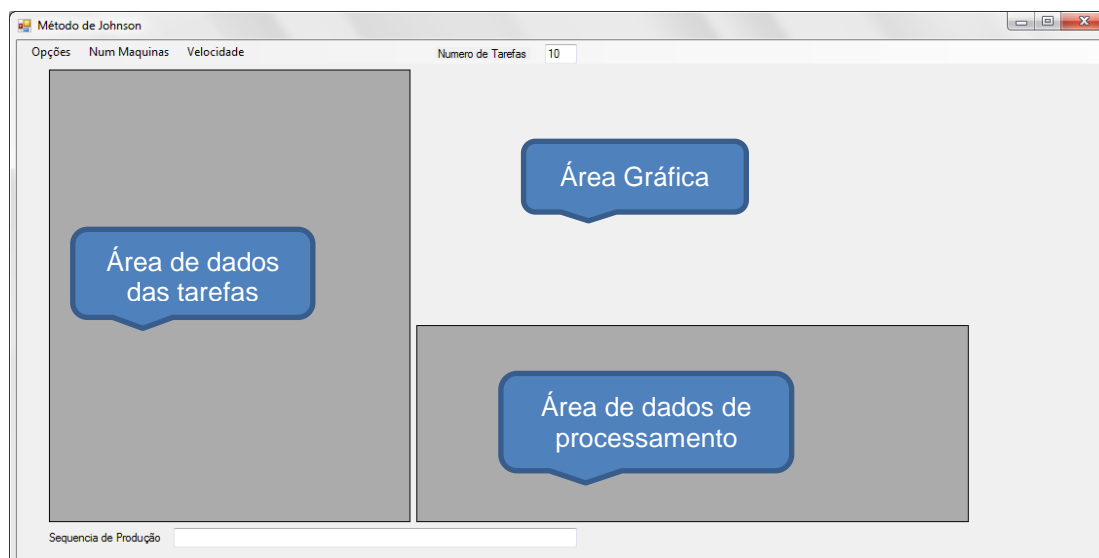


FIGURA 31 – INTERFACE INICIAL DO PROGRAMA
FONTE: O AUTOR

A área de dados de processamento configura o local onde são apresentados os tempos de processamento das máquinas, tais como: Início de Processo, Fim de Processo e Tempo Ocioso. O **Fim de Processo** significa o tempo de fluxo total (*makespan*) de cada máquina, após o sequenciamento das tarefas e o **Tempo Ocioso** refere-se ao tempo em que a máquina fica parada aguardando a próxima tarefa a ser processada. Esta ociosidade está relacionada com o processamento das tarefas na máquina antecessora.

Ainda em análise à (FIGURA 31), é possível observar as outras funções disponíveis no menu do programa, que são: **Opções**, **Num Máquinas**, **Velocidade**, **Numero de Tarefas** e **Sequência de Produção**. Todas estas funções serão explicadas a seguir.

A primeira função a ser explicada é **Número de Tarefas**. Esta função gera aleatoriamente o número de tarefas de acordo com o valor inserido na caixa de texto. Para que o gráfico das tarefas processadas fique apresentável, o ideal é inserir no máximo 10 tarefas. Caso seja necessário processar mais que 10 tarefas, o programa fará o sequenciamento das tarefas, porém sem a garantia de um bom gráfico.

A segunda função a ser apresentada é a opção **Velocidade**. Nesta função estão disponíveis três posições de velocidade de processamento, que são: lento, médio e rápido, conforme apresenta a (FIGURA 32). Estas funções permitem que o usuário altere a velocidade de processamento das tarefas, caso seja necessário analisar o que acontece em cada etapa do sequenciamento de cada tarefa. Esta função é uma boa opção para mostrar, passo a passo, como são sequenciadas determinadas tarefas.



FIGURA 32 – OPÇÕES DO MENU VELOCIDADE
FONTE: O AUTOR

A próxima função a ser explicada é **Num Máquinas**, que está apresentada na (FIGURA 33).



FIGURA 33 – OPÇÕES DO MENU NUM MÁQUINAS
FONTE: O AUTOR

Nesta opção o usuário deve selecionar, conforme disponibilidade, o número de máquinas disponíveis para sequenciamento das tarefas. Neste caso, serão duas ou três máquinas. A opção de duas máquinas será explicada ao mesmo tempo com a função **Opções** e o sequenciamento de n tarefas em três máquinas será explicado no item 4.3.

A função **Opções** tem duas funcionalidades e estão apresentadas na (FIGURA 34). A primeira função é **Criar Randômico**. Esta função é importante, porque permite criar vários cenários para analisar o sequenciamento das n tarefas. É a função responsável por gerar aleatoriamente o número de tarefas a serem sequenciadas, bem como seus respectivos tempos de processamento em cada máquina. Esta função depende do valor inserido na caixa de texto referente ao número de tarefas.



FIGURA 34 – FUNÇÕES DO MENU OPÇÕES
FONTE: O AUTOR

A segunda função é **Ler Arquivo**. Esta função permite a busca de dados em um arquivo de forma a utilizá-los para resolução de determinado problema. A vantagem de ter esta função, é que ela permite resolver problemas específicos inseridos pelo usuário, visto que o programa não permite edição direta de dados. Cria-se um arquivo com os dados das tarefas a serem processadas e em seguida deve-se salvar os dados. Depois é só clicar em **Ler Arquivo** e buscar onde o arquivo foi salvo, para que os dados sejam carregados no programa e em seguida sequenciados. Os dados devem estar digitados em um arquivo do bloco de notas

bem como configurados de forma correta para que o programa leia os dados. Esta sequência está apresentada na (FIGURA 35).

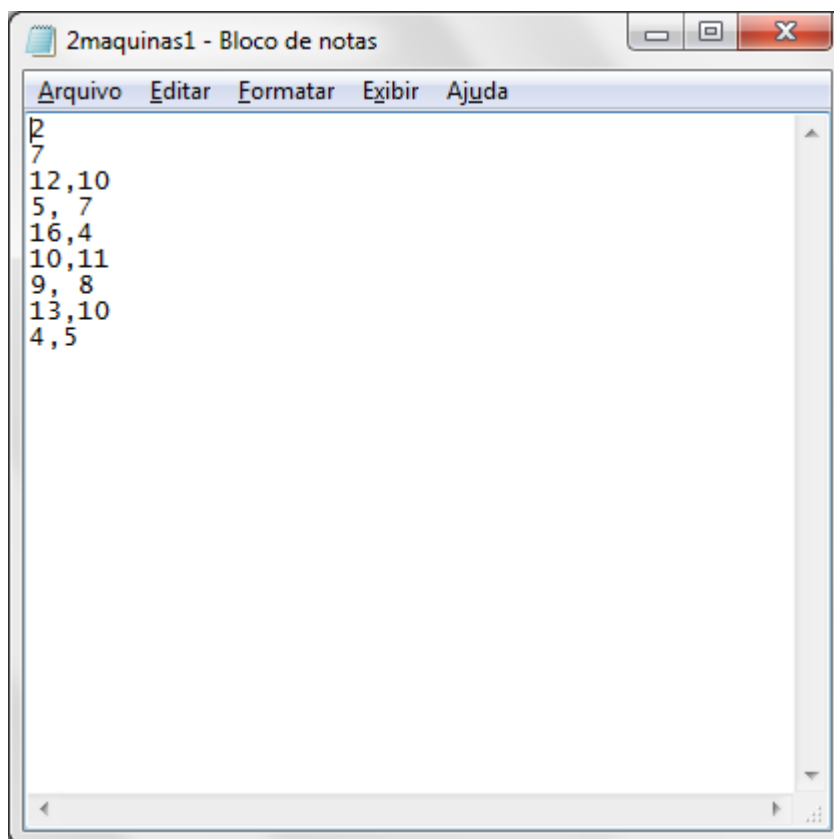


FIGURA 35 – SEQUÊNCIA A SEREM INSERIDOS OS DADOS NO ARQUIVO
FONTE: O AUTOR

O primeiro valor, da primeira linha, representa o número de máquinas disponíveis para o sequenciamento, neste exemplo considera-se 2 máquinas. O segundo valor, na segunda linha, representa o número de tarefas a serem geradas, neste exemplo, são 7 tarefas a serem sequenciadas. A partir da terceira linha estão os valores correspondentes ao tempo de processamento das tarefas em cada máquina, ou seja, cada linha é interpretada como uma tarefa. Neste exemplo tem-se os valores 12 e 10 que correspondem ao tempo de processamento da tarefa 1 nas máquinas M1 e M2 respectivamente, na próxima linha configuram-se os valores 5 e 7 que referem-se aos tempos de processamento nas M1 e M2 respectivamente e assim sucessivamente, até que todas as tarefas sejam sequenciadas.

Para criar os dados aleatoriamente ou fazer a leitura do arquivo com os dados inseridos manualmente, basta clicar na função correspondente ao que se deseja, em seguida são apresentados os dados das tarefas criadas na área de

dados das tarefas e ao mesmo tempo aparecerão na área gráfica, os gráficos com o sequenciamento das respectivas tarefas. Na área de dados de processamento aparecerão os dados após o sequenciamento das tarefas.

Para ilustrar o que foi explicado até o momento, será resolvido o problema com os dados apresentados na (FIGURA 35). No exemplo, é solicitado sequenciar sete tarefas em duas máquinas, o resultado é apresentado de duas maneiras. A primeira é na área destinada à apresentação gráfica, a segunda é na caixa de texto destinada à sequência de produção na parte inferior da tela de apresentação do programa, conforme apresenta a (FIGURA 34).

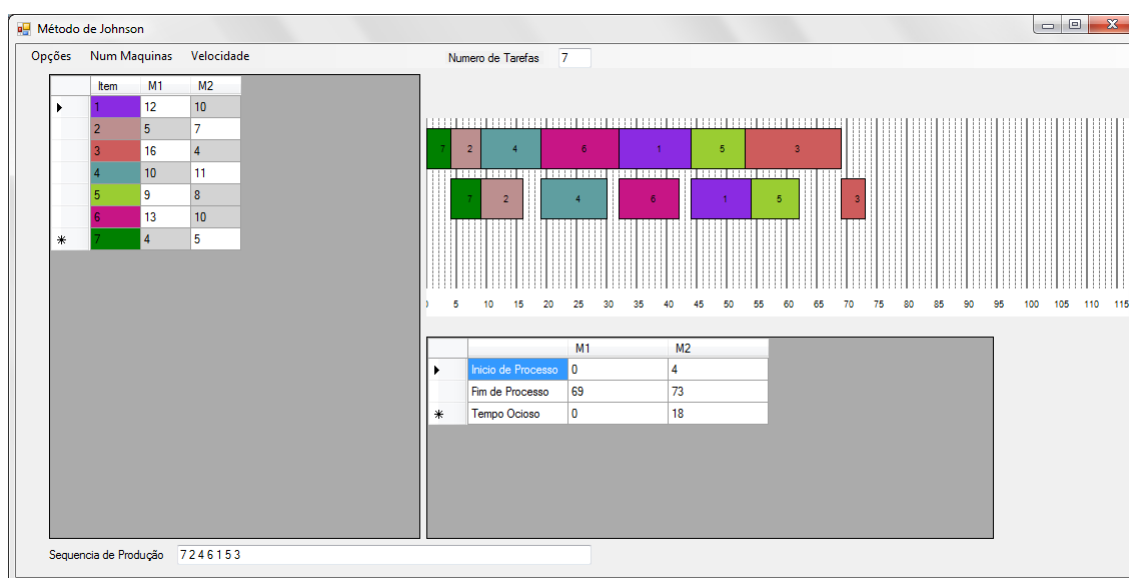


FIGURA 36 – SEQUENCIAMENTO DE SETE TAREFAS EM DUAS MÁQUINAS
FONTE: O AUTOR

No exemplo da (FIGURA 36), na área gráfica, estão apresentados os gráficos com o sequenciamento das tarefas.

Na área de dados das tarefas, estão apresentados os tempos de processamento de cada tarefa, nas respectivas máquinas, e os tempos de processamento estão marcados na cor cinza devido ao sequenciamento de tarefas do programa.

Na área de dados de processamento encontra-se apresentado o tempo de fluxo total, exibido no programa como Fim de Processo. Na máquina M1 ocorreu o fim do processo em 69. Na máquina M2 este tempo foi de 73, sendo que nesta teve-se o tempo ocioso, totalizado em 18 e o sequenciamento gerado foi 7, 2, 4, 6, 1, 5, 3.

Outro exemplo será apresentado usando a função **Criar Randômico**. Para isso, faz-se a inserção do número de tarefas desejadas na caixa de texto destinada para este fim e em seguida deve-se clicar em **Opções** e selecionar **Criar Randômico**. A partir deste momento, será apresentado o número de tarefas com os respectivos tempos de processamento nas máquinas e automaticamente será iniciado o sequenciamento das tarefas que podem ser observadas com a evolução dos gráficos gerados na área gráfica. Além deles, também é apresentada a sequência de produção na caixa de texto. Neste exemplo, são consideradas dez tarefas e o sequenciamento está apresentado na (FIGURA 37).

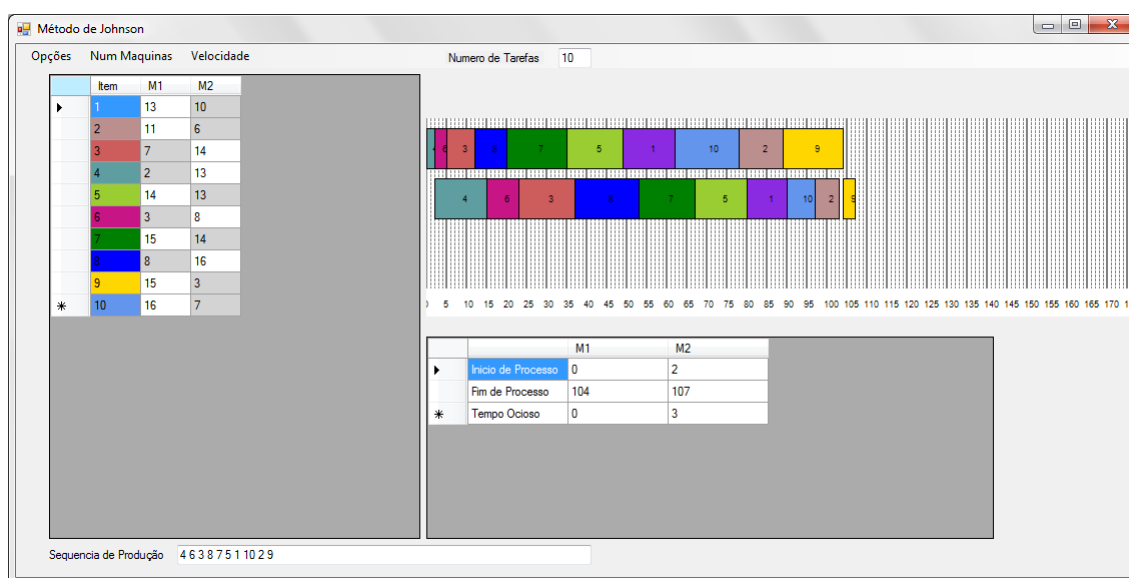


FIGURA 37 – SEQUENCIAMENTO DE DEZ TAREFAS EM DUAS MÁQUINAS
FONTE: O AUTOR

No exemplo apresentado na (FIGURA 37), na área de dados de processamento, o fim do processo na máquina M1 foi de 104. Na máquina M2 este tempo foi de 107, sendo que nesta houve ociosidade, totalizando 3 e o sequenciamento gerado foi 4, 6, 3, 8, 7, 5, 1, 10, 2, 9.

Na área de dados das tarefas, estão apresentados os tempos de processamento das tarefas, nas respectivas máquinas e na área gráfica tem-se a representação dos gráficos das tarefas sequenciadas. Pode-se observar que as primeiras tarefas sequenciadas, 4 e 6, não estão visíveis no gráfico, isto ocorre devido aos ajustes próprios do programa.

Desta forma, pretende-se agora criar outro exemplo, levando-se em consideração vinte tarefas, para então observarem-se como as tarefas estarão

dispostas no gráfico após o sequenciamento delas. Este exemplo está apresentado na (FIGURA 38).

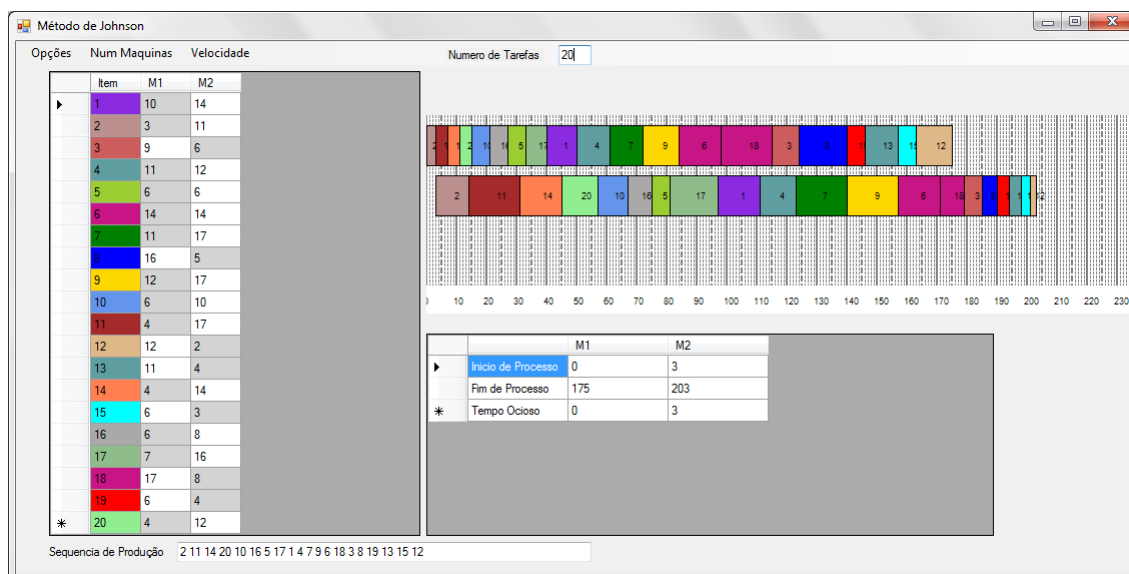


FIGURA 38 – SEQUENCIAMENTO DE VINTE TAREFAS EM DUAS MÁQUINAS
FONTE: O AUTOR

No exemplo apresentado na (FIGURA 38), observa-se os tempos de processamento gerados para cada tarefa a ser sequenciada em duas máquinas na área de dados das tarefas.

Na área de dados de processamento apresenta-se o tempo em que ocorreu o fim de processo na máquina M1 que foi 175. Na máquina M2 este tempo foi de 203, sendo que nesta teve ociosidade, totalizando 3 e o sequenciamento gerado foi 2, 11, 14, 20, 10, 16, 5, 17, 1, 4, 7, 9, 6, 18, 3, 8, 19, 13, 15, 12. Os respectivos gráficos encontram-se apresentados na área gráfica.

Este foi um bom exemplo gerado, por praticamente não apresentar ociosidade na máquina M2, este espaço de ociosidade deu-se devido à espera do processamento da tarefa 2 na máquina M1.

Pode-se então observar que várias tarefas sequenciadas não estão bem visíveis no gráfico, isto ocorre devido aos ajustes que o programa faz na área gráfica. Quanto maior o número de tarefas, maior será o ajuste realizado pelo programa na área gráfica.

Além destes ajustes automáticos, outro fator que influencia na apresentação das tarefas no gráfico refere-se ao tempo de processamento de cada tarefa, sendo

que as que apresentarem tempos de processamento pequenos, praticamente não serão notórias no gráfico em exemplos grandes.

A seguir será apresentado o sequenciamento de n tarefas em três máquinas.

4.3 PROBLEMA DE N TAREFAS A SEREM SEQUENCIADAS EM TRÊS MÁQUINAS

Para a programação do sequenciamento de n tarefas em três máquinas não há uma solução geral que contemple a ordem pré-estabelecida de processamento nas máquinas $M1 \rightarrow M2 \rightarrow M3$, porém podem ser utilizadas as heurísticas já mencionadas, como PEPS, MTP e MDE.

A programação deste sequenciamento segue a mesma lógica do sequenciamento de n tarefas em duas máquinas, como definido anteriormente. Para a resolução deste problema também será utilizado o Algoritmo de Johnson, porém com adaptações. O método utilizado consiste na substituição deste problema por um equivalente, que envolva n tarefas a serem sequenciadas em duas máquinas, ou seja, a criação de duas máquinas fictícias $M4$ e $M5$, cujo tempo de processamento da máquina $M4$ será a soma dos tempos de processamento das máquinas $M1$ e $M2$, e o tempo de processamento da máquina $M5$ será a soma dos tempos de processamento das máquinas $M2$ e $M3$, realizada esta soma, tem-se um problema de n tarefas para serem sequenciadas em duas máquinas, logo, aplica-se o Algoritmo de Johnson para resolução do problema. (CAMPBELL *et. al.*, 1970), (GUPTA *et.al.*, 2012)

A título explicativo de tal problema serão criados três exemplos aleatórios para ilustrar o sequenciamento de n tarefas em três máquinas. O procedimento a ser executado no programa é idêntico ao que foi explicado em 4.2.

No primeiro exemplo serão consideradas cinco tarefas, no segundo dez e no terceiro vinte.

Os exemplos permitirão a observância, nos gráficos, quanto a variabilidade de um maior número de tarefas, que apresentará conseqüentemente uma maior

difículdade de análise e sequenciamento, fazendo-se interessante perceber a sequência gerada na caixa de texto destinada para este fim.

O primeiro exemplo está apresentado na (FIGURA 39).

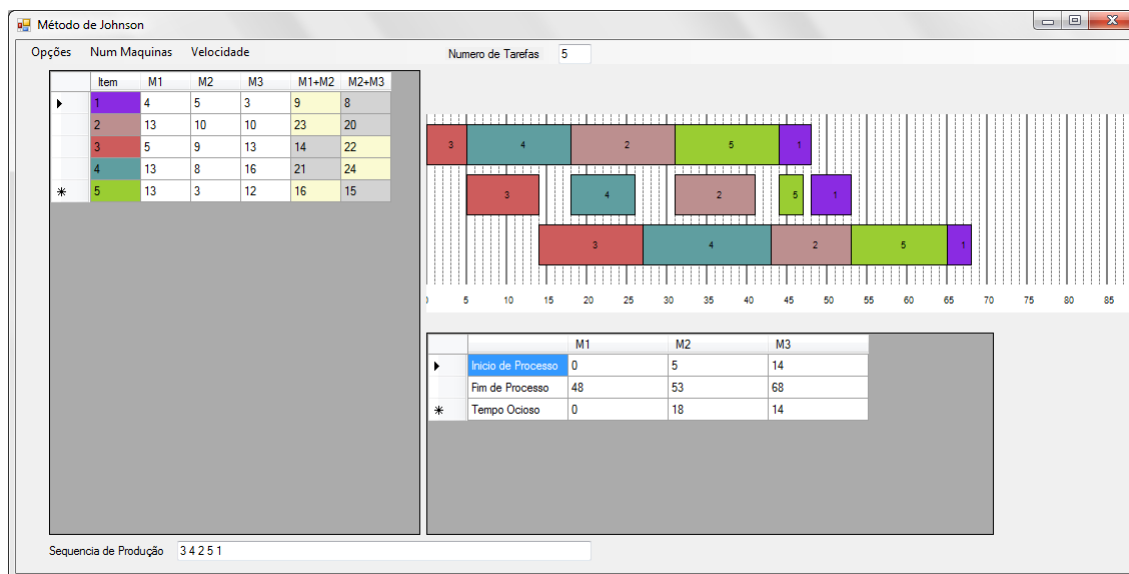


FIGURA 39 – SEQUENCIAMENTO DE CINCO TAREFAS EM TRÊS MÁQUINAS
FONTE: O AUTOR

Na (FIGURA 39), observa-se o sequenciamento de cinco tarefas em três máquinas. Os gráficos, os dados das tarefas e os dados de processamento, estão apresentados em suas respectivas áreas.

A novidade é que aparecem dois novos campos na área de dados das tarefas, os valores acrescentados referem-se às máquinas fictícias criadas para resolver o problema, ou seja, a máquina M4 é a soma dos tempos de processamento das máquinas M1 e M2, na figura, a máquina M4, está apresentada como M1+M2 e a máquina M5 é a soma dos tempos de processamento das máquinas M2 e M3 e a máquina M5 está representa como M2+M3. Estes novos valores de processamento são utilizados para realizar o sequenciamento das tarefas.

Para deixar indicado que a tarefa foi sequenciada, é inserida a cor cinza na posição correspondente ao tempo de processamento que foi utilizado para o sequenciamento da tarefa.

Como, neste exemplo, são poucas tarefas a serem sequenciadas, torna-se possível analisar o sequenciamento somente por meio dos gráficos.

O próximo exemplo representará dez tarefas a serem sequenciadas. O exemplo é apresentado na (FIGURA 40).

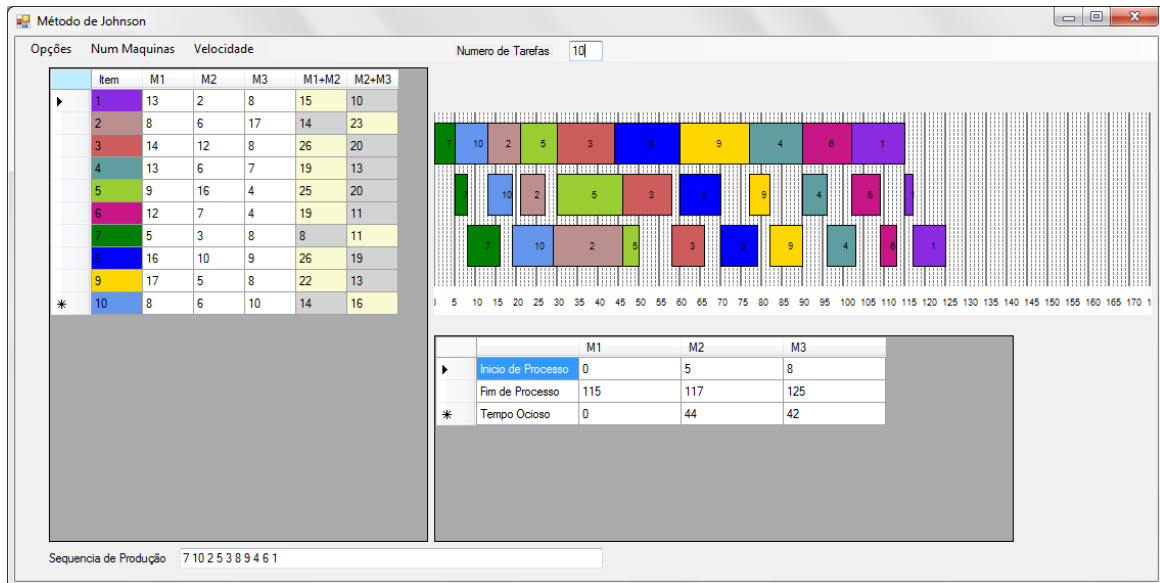


FIGURA 40 – SEQUENCIAMENTO DE DEZ TAREFAS EM TRÊS MÁQUINAS
FONTE: O AUTOR

Na (FIGURA 40) estão apresentados os gráficos com o sequenciamento das dez tarefas, bem como os dados das tarefas e de processamento em suas respectivas áreas. Neste exemplo, ainda é possível analisar o sequenciamento por meio dos gráficos, porém há dificuldade em observar as tarefas com pequenos tempos de processamento.

No terceiro exemplo a ser apresentado, considera-se vinte tarefas a serem sequenciadas em três máquinas, conforme apresenta a (FIGURA 41).

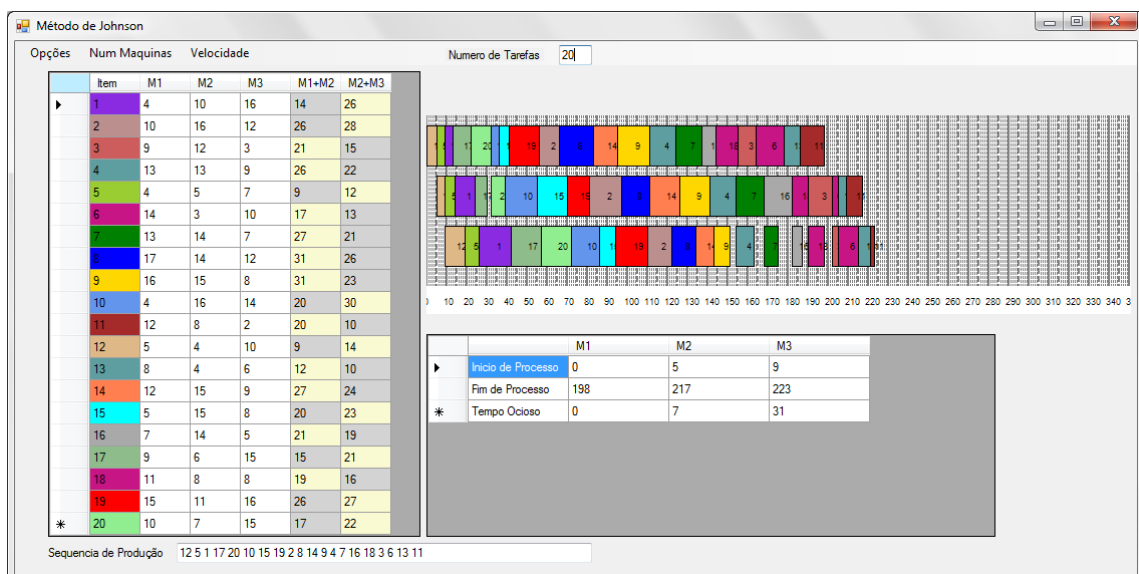


FIGURA 41 – SEQUENCIAMENTO DE VINTE TAREFAS EM TRÊS MÁQUINAS
FONTE: O AUTOR

Neste exemplo, FIGURA 41, torna-se difícil a observância do sequenciamento olhando somente para os gráficos, isto ocorre devido ao aumento de tarefas sequenciadas, bem como aos ajustes automáticos do programa, no dimensionamento da tela para a apresentação dos gráficos. Neste caso, é indicado observar a sequência de produção indicada na caixa de texto.

5 CONCLUSÕES

A atividade de Programação da Produção (PP) é considerada, no mundo industrial, como primordial para a redução de custos e ao mesmo tempo busca a satisfação do cliente. Para que uma empresa atinja uma performance elevada, o departamento de produção deve estar em harmonia com as áreas restantes. A Engenharia de Produção (EP) relaciona-se com diversas áreas, tais como estratégia, economia, finanças, etc. A EP engloba um conjunto de necessidades e habilidades, do profissional e do aluno do Curso de EP, devido a sua interdisciplinaridade.

Por meio da revisão bibliográfica obteve-se um panorama sobre as Regras de Prioridade (RP) mais utilizadas, bem como de trabalhos voltados para a Programação da Produção. Verificou-se a existência de modelos matemáticos e de métodos utilizados, tais como, métodos heurísticos e o método exato, sendo o último pouco utilizado devido à complexidade computacional para problemas de maior porte; enquanto que os métodos heurísticos são referência por apresentarem uma boa solução, em um curto prazo temporal. O desenvolvimento de novos métodos e *softwares é importante* para ampliação de opções que busquem a solução de problemas para a Programação da Produção.

O desenvolvimento destas ferramentas computacionais pode contribuir de forma significativa, tanto no aprendizado, quanto na formação de novos profissionais, principalmente no que diz respeito à resolução dos problemas de sequenciamento da produção, de forma a inferir e auxiliar nas tomadas de decisões.

Conseguiu-se uma boa visualização dos resultados dentro dos limites estabelecidos (número de tarefas e máquinas).

A facilidade com que novos problemas podem ser gerados, tanto na forma aleatória, quanto na forma de exemplos específicos criados pelos usuários, viabiliza uma melhor compreensão das metodologias utilizadas para resolução dos problemas.

As ferramentas podem ser utilizadas pelos professores para a resolução de uma maior quantidade de exemplos, fazendo um reforço no processo de ensino-aprendizagem.

A visualização obtida nos sequenciamentos facilita o entendimento de como cada processo é executado em cada heurística utilizada.

As ferramentas desenvolvidas encontram-se em sua versão beta, ou seja, ainda merecem dedicação para análise e verificação de *bugs* (pequenos erros de desenvolvimento) que, espera-se, possam ser encontradas com a aplicação das mesmas em sala de aula e por meio de críticas construtivas dos usuários.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, seria interessante implementar outras heurísticas além das implementadas neste trabalho.

Outra possibilidade seria inserir no programa uma avaliação da utilização da capacidade e do conceito de gargalo.

Desenvolver uma ferramenta que atenda, além do sequenciamento da produção, outras áreas da Programação da Produção de forma integrada, tais como: Dimensionamento de lotes de produção, balanceamento da produção e de estoques, controle de estoque.

Implementar uma heurística ou algoritmo que contemple o problema de balanceamento e sequenciamento simultaneamente.

Que este trabalho possa ser de grande valia para os diversos desenvolvimentos e implementações sobre sequenciamento de produção, levando-se em consideração a importância do tema que tangencia a possibilidade de maximizar ou minimizar o fluxo na diversidade dos processos de produção.

REFERÊNCIAS

AMORIM, João Faria. **Um sistema flexível para o escalonamento de operações industriais** (A flexible scheduling system for industrial operation). FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado, 2009.

ARAUJO, S. A.; ARENALES, M. N. **Problema de Dimensionamento de Lotes Monoestágio com Restrição de Capacidade**. Modelagem, Método de Resolução e Resultados Computacionais, Pesquisa Operacional. v. 20, n. 2, p. 287-306, dezembro, 2000.

ARAUJO, S.A.; ARENALES, M.N.; CLARK, A.R. **Lot sizing and furnace scheduling in small foundries**. Computers & Operations Research. v. 35, p. 916-932, 2008.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Editora Campus - Elsevier, 2007.

BAKER, K. R. **Introduction to Sequencing and Scheduling**. John Wiley, New York-NY, 1974.

BANKS, J. Introduction to Simulation. In.: SIMULATION CONFERENCE, 1999 Winter, Phoenix. **Proceedings...** IEEE, 1999. p. 7-13.

BATTINI, Daria; FACCIO, Maurizio; PERSONA, Alessandro. **Balancing-Sequencing Procedure for a Mixed Model Assembly System in Case of finite Buffer Capacity**. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 44, p. 345-359, 2009.

BECKER, Christian; SCHOLL, Armin. **A Survey on Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing**. European Journal of Operational Research, vol. 168, p. 694-715, 2006.

BITTENCOURT, E. **Sequenciamento – Sistemas Produtivos II**, UDESC 2013.

BOCK, Stefan; ROSENBERG, Otto; BRACKEL, Thomas Van. **Controlling Mixed-Model Assembly Lines in Real-Time by Using Distributed Systems**. European Journal of Operational Research, v. 168, p. 880-904, 2006.

BOIKO, T. J. P. e MORAIS, M. F. **A atividade de programação da produção sobre a ótica da Pesquisa Operacional: Uma abordagem teórico conceitual**. Anais. Encontro Tecnológico, 6, Campo Mourão – PR, 2009.

BRANCO, R. M. **Agendamento de tarefas em sistemas de manufatura *job shop* realista com demanda por encomenda: solução por algoritmo genético**. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, 2010.

CAMPBELL, H.G.; DUDEK, R. A.; SMITH, M. L. **A heuristic algorithm for the n-job, m-machine sequencing problem**. Mngt Sci 16: B630-B637, 1970.

CARDOSO, P. A. **Interdisciplinaridade na Prática: A Experiência da Aplicação do Software Preactor como Ferramenta de Integração Curricular no Curso de Graduação em Engenharia de Produção**. Revista Gestão Industrial v. 3, p. 103–110, 2007.

CARVALHO, C. R. V. **Seqüenciamento - (Scheduling)**. Notas de aula, Departamento de Engenharia de Produção, 2004.

CHIAVENATO, Idalberto. **Administração da Produção: Uma abordagem Introdutória**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2005.

CORREA, H. L. e CORREA, C. A. **Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços - Uma Abordagem Estratégica**. 2. ed. Editora Atlas, 2009.

CÔRREA, H. L.; GIANESE, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos de Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Bookman. Porto Alegre, 2001.

DEFALQUE, C. M. **Estratégias para incorporação das decisões de sequenciamento em um problema integrado de produção de bebidas.** Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", *Campus* de São José do Rio Preto, São Paulo, 2010.

FAÉ, C. S; ERHART, **Desafios e Tendências na Aplicação de Sistemas APS no Brasil.** Uma abordagem empresarial e prática para a implementação de ferramentas avançadas de planejamento e programação da produção com menores riscos e resultados mais expressivos. *Revista Mundo Logística*, 10 ed., 2009.

FERREIRA, D., MORABITO, R. e RANGEL, S. **Relax and fix heuristics to solve one-stage one-machine lot-scheduling models for small-scale soft drink plants.** *Computers and Operations Research*. v. 37, n.4, p. 684-691, 2010.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações.** 8. ed. São Paulo: Pioneira, 2002.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: modelos e algoritmos.** 2. ed., Rio de Janeiro: Editora Campus, 2005.

GOMES JÚNIOR, A. C. **Problema de Sequenciamento em uma Máquina com Penalidades por Antecipação e Atraso: Modelagem e Resolução.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

GUPTA, D.; SINGH, H.; SINGLA, P.; KAUR, H. **The Idle/Waiting time operator with applications to multistage flow shop scheduling to minimize the rental cost under specified rental policy where processing times are associated with probabilities including transportation time.** *International Journal of Advanced Research and Technology*. Issue 2, Volume 2 (April 2012). ISSN: 2249-9954.

KAWAMURA, M. S.; **Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes de Produção na Indústria de Bens de Consumo de Higiene Pessoal.** Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

KLEIN, R. and SCHOLL A. **Maximizing the production rate in simple assembly line balancing – A branch and bound procedure**. European Journal of Operational Research, 91, 367–385, 1996

LAW, A. M.; MCCOMAS, M. G. Simulation-Based Optimization. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2000, Orlando. **Proceedings...** IEEE, 2000. p. 46-49.

LOPES, C. A. C. **Desenvolvimento de um software de sequenciamento de Máquina**. Departamento de Computação. Universidade Estadual de Londrina, 2009.

LUSTOSA L.; MESQUITA, M. A.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. **Planejamento e Controle da Produção**. Editora Elsevier, 2008

MESQUITA, M.; COSTA, H. G.; LUSTOSA, L.; SILVA, A. S. Programação detalhada da produção. In: LUSTOSA, L. J.; MESQUISTA, M. A.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. **Planejamento e Controle da Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia da Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestões de Operações**. ABEPRO. Editora Elsevier, 2010.

MIYATA, H. H.; BOIKO, T. J. P.; MORAIS, M; F. **Métodos de solução para o problema de Flow Shop Tradicional com tempos de setup separados dos tempos de processamento**. V Encontro de Produção Científica e Tecnológica – EPCT, 2011.

MOCCELLIN, J.V. **Técnicas de Seqüenciamento e Programação de Operações em Máquinas**. 74p, Publicação Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MONKS, J. G. **Administração da Produção**. São Paulo: McGraw-Hill, 1987.

MORAIS, M.F. **Métodos Heurísticos Construtivos para Redução do Estoque em Processo em Ambientes de Produção Flow Shop Híbridos com Tempos de Setup Dependentes da Seqüência**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MORAIS, M.F.; MENEGARDE, J. K.; CANTIERE, P. C. **Regras De Prioridade E Critérios De Desempenho Adotados Em Problemas De Programação Da Produção Em Ambientes *Flow Shop*** IV Encontro de Produção Científica e Tecnológica, 2009.

MOREIRA, D.A. **Administração da Produção e Operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

PASTOR, R. *et al.* **Tabu Search Algorithms for na Industrial Multi-Product na Multi-Objective Assembly Line Balancing Problem, with Reduction of the Task Dispersion**. Journal of the Operational Research Society. V.53, n. 12, p. 1317-1323, 2002.

PINEDO, Michael L. **Planning and Scheduling in Manufacturing and Services**. Springer, 2007.

PLENERT, Gerhard; KIRCHMIER, Bill. **Finite Capacity Scheduling: Management, Selection and Implementation**. Editora: John Wiley & Songs Inc., 2000.

RAJAKUMAR, S.; ARUNACHALAM, V. P.; SELLADURAI, V. **Workflow balancing in parallel machines through genetic algorithm**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 33, p. 1212-1221, 2007.

REID, R. D.; SANDERS, N. R. **Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

SCHOLL, A.; BOYSEN, N.; FLIEDNER, M. Optimally Solving the Alternative Subgraphs Assembly Line Balancing Problem. **Annals of Operations Research**, v. 172, n. 1, p. 243-258, 2009.

SCHOLL, A; KLEIN, R. **Balancing assembly lines effectively – A computational comparison**. *European Journal of Operational Research*, vol.114, p. 50-58, 1999.

SCHOLL, Armin. **Balancing and sequencing of assembly lines**, Physica-Verlag, Heidelberg, Alemanha, 1999.

SENGE, P. M. **A quinta disciplina**. 16. ed. Editora Best Seller, 1994.

SHANNON. R. E. **Introduction To The Art and Science Of Simulation** Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference D.J. Medeiros, E. F. Watson, J. S. Carson and M. S. Manivannan, eds.

SILVA, G. G. M. P.; TUBINO, D.F. **Linhas de Montagem: Tendências, Lacunas e Perspectivas Futuras de Pesquisa.** Anais SIMPOI 2012.

SLACK, Nigel; JOHNSTON, Robert e CHAMBERS, Stuart. **Administração da Produção.** Atlas, 2009.

STOOP. P. P. M; WIERS, V. C. S. **The complexity of scheduling in practice**, International Journal of Operations & Production Management, v. 16 n. 10, 1996. p. 37-53.

TAILLARD, E. **Benchmarks for Basic Scheduling Problems.** European Journal of Operational Research. 1993. v. 64. p. 278-285.

TOSO, E.A.V e MORABITO, R. **Otimização no Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes de Produção:** Estudo de Caso numa Fábrica de Rações. Gestão & Produção. v. 12, n. 2, São Carlos, 2005.

TOSO, E.A.V.; MORABITO, R.; CLARK, A.R. **Lotsizing and sequencing optimization at an animal-feed plant.** Computer & Industrial Engineering. v.57, p. 813-821, 2009.

TSUJIGUCHI, L. T. A.; BOIKO, T. J. P.; MORAIS, M. F. **Programação da Produção em Flow Shop Permutacional com restrições adicionais e critério de makespan.** V Encontro de Produção Científica e Tecnológica - EPCT, 2010.

TUBINO, D. F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção.** São Paulo. Atlas, 1997.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática.** São Paulo Atlas. 2009.

6 APÊNDICE

Apresenta-se a seguir, aplicação de algumas regras de prioridade descritas no quadro 1.

Exemplo 1

Em determinado momento as peças A, B, C, D, E e F chegam nessa ordem e aguardam processamento em frente a uma célula de usinagem. Como ilustra a tabela 1, cada uma das tarefas possui específicas datas de liberação, datas prometidas ou datas de entrega e específicos tempos de processamento. Sequenciar os trabalhos utilizando a regra PEPS, MTP e MDE.

A tabela 4 apresenta os dados iniciais para a programação de tarefas em uma máquina.

TAREFAS	A	B	C	D	E	F
Data de Liberação (DL)	0	1	2	4	6	7
Tempo de Processamento (TP)	9	7	3	4	8	6
Data Prometida (DP)	32	27	26	23	26	28

TABELA 4 – DADOS INICIAIS PARA O SEQUENCIAMENTO
 FONTE: LUSTOSA *et al* (2008)

➤ REGRA PEPS

É uma forma trivial para obter um sequenciamento. A tarefa que chega primeiro na máquina é a primeira a ser processada. Neste caso o sequenciamento é considerado dinâmico porque as ordens são liberadas em diferentes datas.

Para Lustosa *et al* (2008) o sequenciamento gerado por esta regra visa minimizar o tempo de espera da primeira tarefa na fila, depois o tempo de espera da segunda e, assim por diante. Esta regra aplicada a um fila de atendimento a pessoas é a mais comum, pois incorpora sentimento de justiça.

Para Tubino (2009) esta regra faz com que as tarefas com tempos de processamento mais longos retardem toda a produção, ou seja, gera tempo ocioso nos processos à frente, fazendo com que o tempo médio de espera seja alto.

Tarefas	DL	TP	DP	DI	DC	F	D	ANT	AT
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
MÉDIA						19,166	-4,5	-6,833	2,333
MÁXIMO					37	30		23	9

TABELA 5 – APLICAÇÃO DE REGRA PEPS
 FONTE: LUSTOSA *et al* (2008)

Para um melhor entendimento da tabela 5 é importante algumas definições:

- Data de Liberação (DL): é data a partir da qual a tarefa está liberada para processamento.
- Tempo de Processamento (TP): é o tempo efetivamente gasto desde que o trabalho começa a ser processado até o seu término.
- Data de Prometida (DP): é a data na qual o trabalho deve estar pronto.
- Data de Início (DI): é quando se inicia o processamento do trabalho, ou seja, inicia-se imediatamente quando a tarefa anterior é concluída. $DI = DC_{(i-1)}$
- Data de Conclusão (DC): é a data de conclusão do trabalho da tarefa anterior mais o seu tempo de processamento. $DC = DC_{(i-1)} + TP$
- Fluxo ou tempo de espera (F): é o tempo de espera no sistema. $F = DC - DL$
- Desvio de pontualidade (D): diferença entre a data de conclusão e a data prometida para a entrega do trabalho. $D = DC - DP$
- Antecipação (ANT): o trabalho é entregue antes da data prometida.
- Atraso (AT): o trabalho é entregue após a data prometida.

A tabela 5 apresenta duas ordens atrasadas, com atrasos de 5 e 9, o tempo médio de fluxo das tarefas foi de 19,2 e o tempo total para conclusão das tarefas foi de 37. Para uma melhor visualização, o gráfico 2 mostra o processamento de cada trabalho conforme a sua data de início e tempo de processamento.

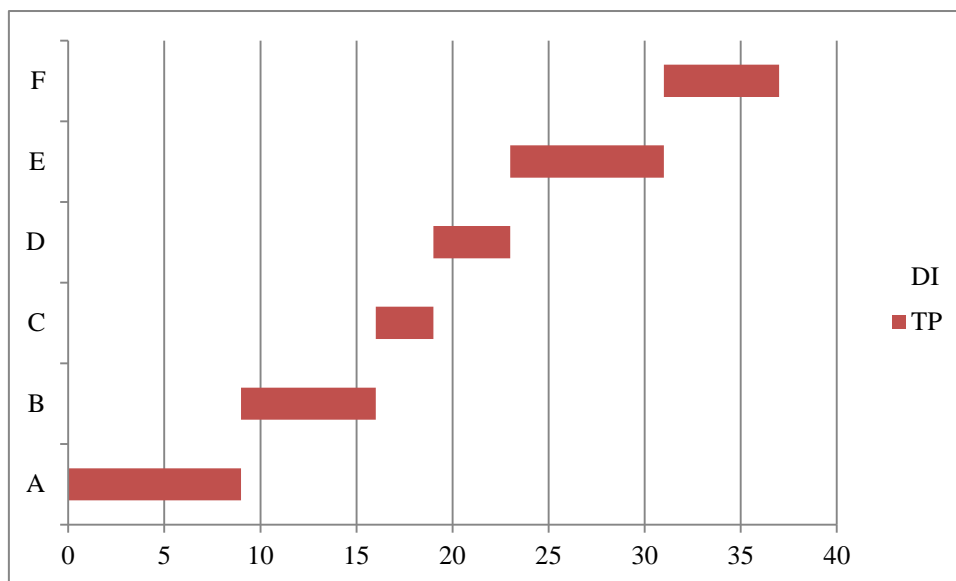


GRÁFICO 2 – PROCESSAMENTO COM A UTILIZAÇÃO DA REGRA PEPS
FONTE: O AUTOR

➤ REGRA MTP

Para a aplicação desta regra é considerado o menor tempo de processamento. Neste caso, todas as ordens devem estar disponíveis na data inicial, ou seja, a data inicial de todas as tarefas deve ser igual a zero. Neste caso o problema é classificado com estático. A aplicação desta regra resulta na sequência apresentada na tabela 6.

TAREFAS	DL	TP	DP	DI	DC	F	D	ANT	AT
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
MÉDIA					18	18	-9	10,166	1,1666
MÁXIMO					37	37		23	5

TABELA 6 – APLICAÇÃO DA REGRA MTP
FONTE: LUSTOSA *et al* (2008)

Com os resultados apresentados na tabela 6, observa-se que duas ordens estão atrasadas. Quanto ao atraso médio das ordens e o fluxo médio a utilização desta regra obteve melhor desempenho que a PEPS.

Como o fluxo médio é menor, a utilização desta regra acelera o fluxo das ordens, liberando-as mais rapidamente para o processo seguinte e por decorrência

reduz o estoque na fábrica e agiliza o carregamento das máquinas à frente. O gráfico 3 mostra o processamento das ordens com a aplicação desta regra.

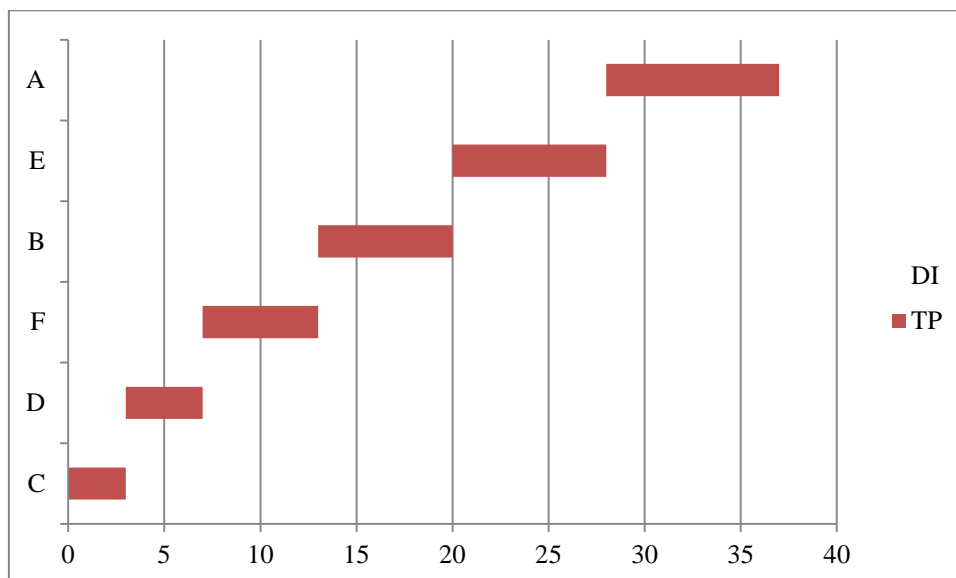


GRÁFICO 3 - PROCESSAMENTO COM A UTILIZAÇÃO DA REGRA MTP
FONTE: O AUTOR

➤ REGRA MDE

Nesta regra, utiliza-se a menor data para o processamento do trabalho, ou seja, em ordem crescente de datas, sendo assim, prioriza as datas prometidas e com isso procura minimizar os atrasos, conforme dados apresentados na tabela 7.

TAREFAS	DL	TP	DP	DI	DC	F	D	ANT	AT
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
MÉDIA					18,83333	18,83333	-8,16667	-9	0,833333
MÁXIMO					37	37		19	5

TABELA 7 – APLICAÇÃO DA REGRA MDE
FONTE: LUSTOSA *et al* (2008)

Neste caso, observa-se que o tempo médio de fluxo (F) é maior que no caso anterior e apenas uma ordem é atrasada. Esta regra minimiza o atraso máximo. Para uma melhor visualização do processo, o gráfico 4 mostra o processamento das ordens com a aplicação desta regra.

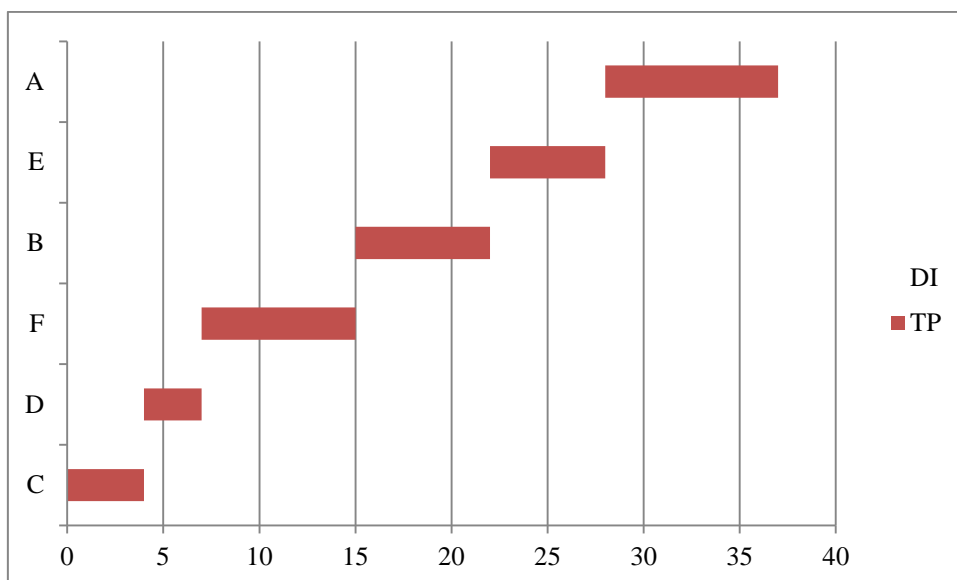


GRÁFICO 4 - PROCESSAMENTO COM A UTILIZAÇÃO DA REGRA MDE
FONTE: O AUTOR

No quadro 4 é apresentado um comparativo entre as regras.

	Fluxo médio (F)	Antecipação (ANT)		Atraso (AT)		
		Média	Total	Médio	Total	
					Tarefas	Dias
PEPS	19,1667	6,83	3	2,33	2	14
MTP	18	10,167	4	1,167	2	7
MDE	18,83	9	4	0,83	1	5

QUADRO 6 – COMPARATIVO ENTRE AS REGRAS
FONTE: O AUTOR

Com o resumo dos resultados apresentados no quadro 6, observa-se que a regra PEPS é pouco eficiente, porém para o cliente esta é uma regra considerada justa.

Considerando o fluxo médio, a regra MTP obteve melhor desempenho. A utilização desta regra acelera o fluxo das ordens, liberando-as mais rapidamente para o processo seguinte e por decorrência reduz o estoque na fábrica. Considerando como fator decisivo a antecipação, esta regra obteve melhor desempenho em relação a PEPS, porque além de antecipar quatro tarefas também antecipou a conclusão destas tarefas em média dez dias antes da data prometida. Devido a competitividade entre empresas, este é um fator importante a ser considerado.

A regra MDE foi a que obteve o menor atraso médio, esta regra procura minimizar o atraso máximo. Observa-se que com a utilização das regras PEPS ou MTP duas ordens são atrasadas em quatorze e sete dias respectivamente, enquanto que a MDE atrasa somente uma ordem em cinco dias. Para a percepção da satisfação do cliente este fator é decisivo.

Este exemplo mostra que a utilização destas regras pode auxiliar o gestor na tomada de decisão, porém esta decisão também depende da especificidade de cada organização.

Exemplo 2 – Aplicação do Algoritmo de Moore

Consideram-se os dados das tarefas de A-F apresentados na tabela 8. Determine a sequência com o menor número de ordens atrasadas.

TAREFAS	A	B	C	D	E	F
Data de Liberação (DL)	0	0	0	0	0	0
Tempo de Processamento (TP)	9	7	3	4	8	6
Data Prometida (DP)	24	18	17	15	16	19

TABELA 8 – DADOS INICIAIS
FONTE: LUSTOSA *et. al.*(2008)

Para iniciar a resolução utilizando o Algoritmo de Moore é necessário primeiramente sequenciar as tarefas por MDE. Este sequenciamento está apresentado na tabela 9.

TAREFAS	DL	TP	DP	DI	DC	F	D	ANT	AT
D	0	4	15	0	4	4	-11	-11	0
E	0	8	16	4	12	12	-4	-4	0
C	0	3	17	12	15	15	-2	-2	0
B	0	7	18	15	22	22	4	0	4
F	0	6	19	22	28	28	9	0	9
A	0	9	24	28	37	37	13	0	13
MÉDIA					19,66	19,66	1,5	-2,83	4,33

TABELA 9 – TAREFAS SEQUENCIADAS POR MDE
FONTE: O AUTOR

Após o sequenciamento das tarefas por MDE, deve-se identificar na sequência a primeira tarefa atrasada, como apresentado na tabela 10.

TAREFAS	DL	TP	DP	DI	DC	F	D	ANT	AT
D	0	4	15	0	4	4	-11	-11	0
E	0	8	16	4	12	12	-4	-4	0
C	0	3	17	12	15	15	-2	-2	0
B	0	7	18	15	22	22	4	0	4
F	0	6	19	22	28	28	9	0	9
A	0	9	24	28	37	37	13	0	13
MÉDIA					19,66	19,66	1,5	-2,83	4,33

TABELA 10 – TAREFAS SEQUENCIADAS POR MDE

FONTE: O AUTOR

Identificada a sequência com a primeira tarefa atrasada, em seguida, considera as tarefas até a primeira tarefa atrasada e descarta da lista de tarefas a que tem o maior tempo de processamento. A tarefa que foi descartada vai para o final da lista. A nova sequência está apresentada na tabela 11.

TAREFAS	DL	TP	DP	DI	DC	F	D	ANT	AT
D	0	4	15	0	4	4	-11	-11	0
C	0	3	17	4	7	7	-10	-10	0
B	0	7	18	7	14	14	-4	-4	0
F	0	6	19	14	20	20	1	0	1
A	0	9	24	20	29	29	5	0	5
E	0	8	16	29	37	37	21	-4	21
MÉDIA					18,5	18,5	0,333	-4,1667	4,5

TABELA 11 – SEQUÊNCIA DEPOIS DE DESCARTADA A TAREFA E

FONTE: O AUTOR

Repete-se o procedimento anterior e descarta a próxima tarefa, no caso, a tarefa a ser descartada é a tarefa B. A tabela 12 apresenta a nova sequência.

TAREFAS	DL	TP	DP	DI	DC	F	D	ANT	AT
D	0	4	15	0	4	4	-11	-11	0
C	0	3	17	4	7	7	-10	-10	0
F	0	6	19	7	13	13	-6	-6	0
A	0	9	24	13	22	22	-2	-2	0
E	0	8	16	22	30	30	14	0	14
B	0	7	18	30	37	37	19	0	19
MÉDIA					18,833	18,833	0,6666	-	5,5
								4,833	

TABELA 12 - SEQUÊNCIA DEPOIS DE DESCARTADA A TAREFA B

FONTE: O AUTOR

Como não há mais tarefas a serem descartadas para o final da sequência encerra-se o algoritmo e a sequência obtida foi D-C-F-A-E-B e as tarefas atrasadas

foram E-B. Verifica-se que o atraso médio aumentou de 4,33 para 5,5 devido as tarefas atrasadas diminuírem de 3 para 2. A redução no atraso das tarefas foi obtida, porém a redução foi possível devido a um maior atraso das tarefas descartadas para o final da sequência. Na prática, deve-se analisar se é mais interessante minimizar o atraso das tarefas ou minimizar o maior atraso, como no caso da MDE.

Exemplo 3 – Aplicação do Algoritmo LPT

Neste exemplo será considerado 10 tarefas de A-J a serem sequenciadas em 3 máquinas paralelas idênticas. Aplicar o Algoritmo LPT para sequenciar as tarefas nas máquinas visando minimizar o tempo total (*makespan*). Os dados referentes aos tempos de processamento de cada tarefa são apresentados na tabela 13.

TAREFAS	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
TP	4	2	9	12	15	1	5	1	3	7

TABELA 13 – DADOS INICIAIS
FONTE: LUSTOSA *et. al.* (2008)

Inicialmente será gerado uma solução qualquer para comparar com o desempenho do LPT. A tarefa A é designada para a M1, a tarefa B para a M2, a tarefa C para a M3 e assim sucessivamente conforme apresentado no gráfico 5. Nesta solução a carga maior foi nas M1 e M2 com o tempo total de 24 unidades (dias, horas, minutos, etc).

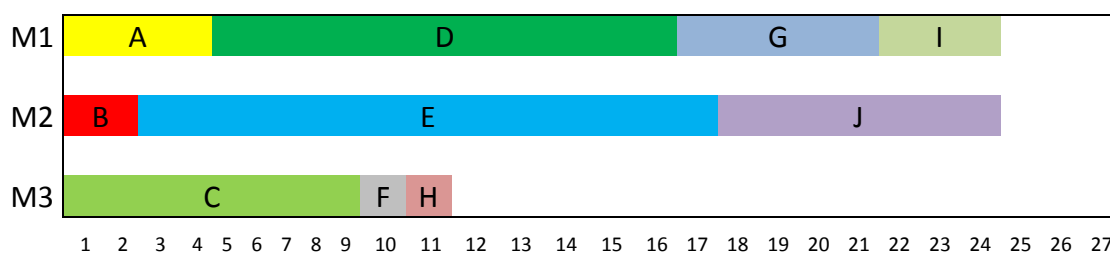


GRÁFICO 5 – SOLUÇÃO INICIAL
FONTE: O AUTOR

Para aplicar a heurística LPT, inicialmente deve-se ordenar as tarefas em ordem decrescente de tempo de processamento. Estes tempos estão apresentados na tabela 14.

E	D	C	J	G	A	I	B	F	H
15	12	9	7	5	4	3	2	1	1

TABELA 14 - DADOS INICIAIS EM ORDEM DECRESCENTE DE TP
FONTE: LUSTOSA *et. al.* (2008)

Aplicando o Algoritmo LPT, obtém-se a solução apresentada no gráfico 6.

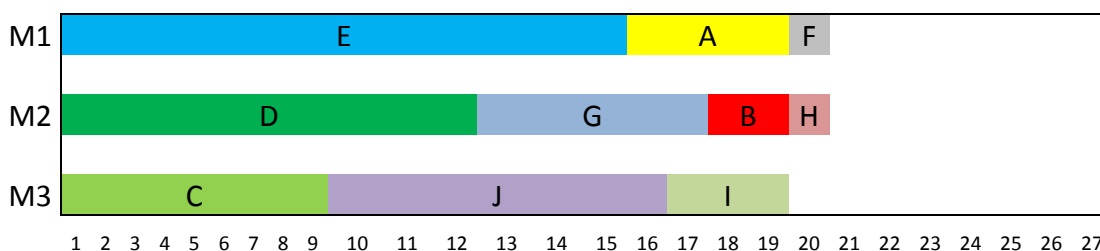


GRÁFICO 6 – SOLUÇÃO INICIAL

FONTE: O AUTOR

Comparando as duas soluções observa-se que o LPT obteve melhor desempenho com um tempo total de 20 unidades de tempo contra 24 unidades de tempo da solução inicial.

Exemplo 4 – Aplicação do Algoritmo de Johnson

É uma Heurística utilizada para sequenciar n tarefas para 2 máquinas (M1, M2). O algoritmo visa minimizar o *lead time* total de um conjunto de ordens processadas em dois recursos sucessivos, ou seja, todas as tarefas tem a mesma sequência (*flow shop*).

Neste caso, o procedimento a ser utilizado é posicionar as tarefas com menor tempo de processamento na M1 e os de maior tempo na M2.

Considerando sete tarefas, deseja-se sequenciá-las em duas máquinas (M1, M2) conforme dados apresentados na tabela 15.

Tarefa	1	2	3	4	5	6	7
Tempo de Processamento em M1	6	2	4	1	7	4	7
Tempo de Processamento em M2	3	9	3	8	1	5	6

TABELA 15 – SETE TAREFAS A SEREM SEQUENCIADAS EM DUAS MÁQUINAS

FONTE: O AUTOR

Aplicando o algoritmo obtêm-se:

4	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	5
4	2	-	-	-	-	5
4	2	-	-	-	3	5
4	2	-	-	1	3	5
4	2	6	-	1	3	5
4	2	6	7	1	3	5

A sequência gerada pelo algoritmo foi 4, 2, 6, 7, 1, 3, 5.