

Parte I

Introdução ao projeto integrado de produtos

Capítulo 1

Desenvolvimento integrado do produto – importância para a competitividade

1.1 Introdução

Este capítulo apresenta uma introdução à área de desenvolvimento de produtos industriais. Em primeiro lugar, devido à amplitude e à multidisciplinaridade da área de conhecimento, serão relacionados alguns conceitos básicos e discutidas as principais terminologias adotadas nesta obra, visando uma uniformidade de entendimento.

Utensílios ou produtos já são produzidos desde os primórdios da civilização humana, mas o estudo do processo de projeto de produtos, como uma disciplina ou de uma forma mais sistemática, só ocorreu a partir da década de 1960, como será descrito em um breve histórico no item 1.3. A partir de 1980, com a globalização, a atividade de desenvolvimento de produtos foi considerada de importância extraordinária; os métodos e ferramentas desenvolvidos foram resultados de grandes esforços de pesquisa. Atualmente a competitividade dos produtos depende de fatores tais como escopo, custo, tempo de lançamento e qualidade do produto, conforme as considerações apresentadas no item 1.4 deste capítulo.

Na seqüência, o capítulo traz aspectos e perspectivas sobre ensino, capacitação e pesquisa no campo de conhecimento de desenvolvimento de produtos. Ao final do capítulo, com o objetivo de fixar e ampliar o conhecimento sobre os assuntos abordados, são apresentados problemas, temas de discussão e as referências bibliográficas.

1.2 Conceitos básicos para o desenvolvimento integrado de produtos

Desenvolvimento de produto é um conceito amplo e, nesta obra, compreenderá os aspectos de planejamento e projeto, ao longo de todas as atividades da seqüência do processo, desde a pesquisa de mercado, o projeto do produto, projeto do processo de fabricação, plano de distribuição e de manutenção até o descarte ou desativação do mesmo. Por esse conceito, entende-se desenvolvimento de produto como todo o processo de transformação de informações necessárias para a identificação da demanda, a produção e o uso do produto. O desenvolvimento integrado de produto considera que esse processo de transformação e geração de informações deva ser efetuado por uma equipe multidisciplinar, ou melhor, que os requisitos, restrições do produto e soluções, ao longo de todas as fases do processo, devam ser considerados ou pensados simultaneamente. O termo engenharia simultânea também será usado para expressar o desenvolvimento integrado do produto. Engenharia simultânea é a tradução adotada para *concurrent engineering*, do inglês.

O termo produto refere-se a um objeto concebido, produzido industrialmente com características e funções, comercializado e usado pelas pessoas ou organizações, de modo a atender a seus desejos ou necessidades. Os produtos são constituídos de elementos que formam um conjunto de atributos básicos, tais como: aparência, forma, cor, função, imagem, material, embalagem, marca, serviços pós-venda e garantias. Novos produtos não significam, necessariamente, produtos originais; novos produtos podem ser obtidos com melhorias e modificações de produtos existentes. Novos tamanho e forma de um produto já existente podem representar um novo produto. Da mesma forma, um produto já existente introduzido em um novo nicho de mercado ou em um novo mercado geográfico pode ser considerado um novo produto. Os novos produtos podem ser classificados em:

- **variantes de produtos existentes:** incluem extensões de linha, reposicionamento de produtos em termos de seu uso e mercado, formas novas, versões modificadas e, em alguns casos, a nova embalagem de produtos existentes;
- **inovativos:** são o resultado de modificações feitas em produtos existentes, gerando produtos de elevado valor agregado. Geralmente

um maior grau de inovação requer um tempo mais longo ou esforço de desenvolvimento e maior custo de pesquisa;

- **criativos:** são produtos normalmente com existência nova. Seu tempo de desenvolvimento é longo e os custos de pesquisa e desenvolvimento são elevados. A introdução de produtos criativos no mercado pode ser de risco elevado, mas também pode gerar novos paradigmas e potencializar novos campos industriais.

Outro termo frequentemente usado nesta obra é o de ciclo de vida do produto, que é empregado na literatura em geral para dois significados. No primeiro caso, é usado para expressar o período entre o lançamento e a retirada do produto do mercado, ou o tempo de comercialização do mesmo. No segundo caso, e quando usado no presente livro, ciclo de vida do produto significa a seqüência de fases pelas quais se desenvolve o produto, desde a busca de oportunidades no mercado, o projeto, a fabricação até o uso e o descarte. Dentro desse ciclo, tratar-se-á, em profundidade, o processo de desenvolvimento do produto, que compreende as seguintes fases: planejamento do produto; definição das especificações de projeto; projeto do produto; projeto do processo de fabricação e de montagem; construção e teste do protótipo; e planejamento do processo de transporte, manutenção e descarte ou desativação do produto. A fase de projeto do produto terá destaque especial nesta publicação e será abordada na maior parte dos próximos capítulos.

Projeto, neste contexto, corresponde ao termo *design*, em inglês, e *Konstruktion*, em alemão. No Brasil vem-se adotando o termo *design* para expressar a área de conhecimento do domínio do desenho industrial ou, em inglês, o termo *industrial design*. Os desenhistas industriais brasileiros costumam chamar-se de *designers*, para expressar os profissionais que atuam no domínio de ergonomia, expressão e estética do produto. No Brasil, de forma geral e neste livro, adotam-se os termos projetar e projetista para expressar a atividade e o profissional que desenvolve produtos industriais. Projeto é o resultado da atividade de projetar, e para a ação de projetar vem-se usando o termo projeção (Ferreira, 1986).

Conforme Ferreira (1986), a palavra projeto é a "idéia que se forma de executar ou realizar algo no futuro, é um plano, um intento ou desígnio". Assim, projeto do produto é um plano de um empreendimento a ser realizado – um produto, com o fim de atender a uma necessidade. Traduzido do dicionário Oxford (Fowler e Fowler, 1964), projeto ainda pode ser

definido como “**um plano mental, um esquema de ataque, visão de um fim, adaptação de meios para fins (...), esquemas preliminares de um objeto (...), invenção**”. Alguns elementos importantes dessas definições são os seguintes:

- **meios para fins:** implica que se projete não para um exercício mental abstrato, mas para uma meta definida em vista;
- **plano mental:** sugere que o projeto é um processo de pensamento. Quando se projeta, trata-se primeiramente com idéias, com abstrações, em vez de números. É vital que se desenvolva e aplique a imaginação para visualizar, realisticamente, a futura concepção do produto;
- **plano, esquema:** sugere que o projeto é distinto do ponto de vista da implementação. Diferentes planos podem ser preparados;
- **invenção:** significa que se está procurando alguma coisa nova, ao menos parcialmente. A criatividade é crucial para esse propósito.

As definições anteriores são gerais e se aplicam para diferentes tipos de projetos, desde aqueles pessoais, bem como os governamentais, até aqueles desenvolvidos pelas empresas de um modo geral. Do ponto de vista do projeto de produtos de engenharia, outras definições são encontradas na literatura técnica, conforme exemplos mostrados a seguir.

Projeto de engenharia é o “**uso de princípios científicos, informações técnicas e imaginação na definição de estruturas, máquinas ou sistemas para desempenhar funções pré-especificadas com máxima economia e eficiência**”. A responsabilidade do projetista ou da equipe de projeto se estende por todo o processo, desde o estabelecimento das especificações do mesmo até as instruções detalhadas para a fabricação, uso e descarte ou desativação, além de atenção especial com segurança e meio ambiente.

Projeto é uma atividade predominantemente cognitiva, fundamentada em conhecimento e experiência, dirigida à busca de soluções ótimas para produtos técnicos, a fim de determinar a construção funcional e estrutural e criar documentos com informações precisas e claras para a fabricação. Como parte do processo de desenvolvimento do projeto, incluem-se a configuração intelectual e representacional de determinada forma, a escolha da matéria-prima e o processo de fabricação, assim como tornar possível e justificável, técnica e economicamente, a realização material ou física do produto.

O projeto do produto pode ser formulado como o ato, sujeito às restrições de resolução, de planejar uma peça ou um sistema para atender de forma ótima às necessidades estabelecidas, sujeito, ainda, às restrições de solução. Por restrições de resolução, entende-se aquelas que se relacionam com o conhecimento disponível, o tempo e as facilidades de laboratório e de computação para resolver o problema; por restrições de solução, entende-se aquelas que englobam aspectos de custos, disponibilidade de materiais, equipamentos de fabricação e de uso, manutenção e descarte.

Como se pode observar, projeto do produto é um plano amplo para realizar algo, compreendendo aspectos desde a identificação de uma necessidade até o descarte ou o seu efeito sobre o meio ambiente. O objetivo, neste livro, é orientar o leitor para a necessidade de uma visão abrangente do termo projeto do produto, mostrando as preocupações que os projetistas ou equipes de projeto devem ter e quais são os métodos e ferramentas apropriadas para o desenvolvimento de um produto de alta qualidade. Quando se fala em qualidade do produto, esse termo tem um significado bem amplo, isto é, um produto de escopo apropriado, fornecido em tempo e custo adequados, com especificações de função, de fabricação, uso e manutenção fáceis e econômicos, seguro, confiável, inofensivo ao meio ambiente etc. Para conceitos tais como fabricação, montagem e manutenção fáceis e econômicas, e tantos outros, serão usados os termos fabricabilidade, montabilidade e manutenibilidade. Estas são qualidades que o produto deverá apresentar.

Para desenvolver um produto com eficiência e eficácia, é necessário saber *o que fazer, para quem fazer, quando fazer, com que fazer e como fazer*. A esta organização (conhecimentos, métodos e ferramentas utilizados para o desenvolvimento) chamar-se-á metodologia de projeto, ou metodologia de desenvolvimento de produtos. Outros termos encontrados na literatura são engenharia do produto, projeto de engenharia e teoria de projeto. Na literatura de língua inglesa encontram-se termos tais como *engineering design, product design* e *theory of design*, e na língua alemã, encontram-se os termos de *Methodisches Konstruieren* e *Theorie der Konstruktionsprozesse*.

Com a globalização da economia, os produtos devem apresentar alta qualidade, no mais amplo sentido do termo, ou seja, o produto deve ser competitivo. Para alcançar essa competitividade o produto deverá ser desenvolvido de uma forma integrada, com competências em múltiplas dis-

ciplinas. Assim, não se pode mais falar em projetista, no singular, mas em equipe integrada de profissionais de diversas funções dentro de um ambiente de desenvolvimento de produto de uma empresa, universidade ou instituto de pesquisa, e que atue, simultaneamente, ao longo do processo de desenvolvimento do produto.

A gerência é importante para que uma equipe de profissionais das mais diversas competências – desenhistas industriais ou *designers*; de marketing; de custos; engenheiros mecânicos, eletricitistas, eletrônicos, de informática, de materiais, de confiabilidade, de embalagens; assistência técnica; consumidores; fornecedores etc. – alcance bons resultados. Essa ação de gerência é, genericamente, denominada e encontrada na literatura técnica sob os termos de gestão ou gerenciamento de projetos. Nesta obra preferese usar o termo gerenciamento, ou então, mais especificamente, gerenciamento do desenvolvimento do produto.

1.3 Breve histórico da área de conhecimento

A atividade de produção é inerente à atividade humana e tem papel fundamental nas diversas fases de desenvolvimento econômico. Até a Revolução Industrial, no século XVIII, os produtos eram elaborados diretamente por artesãos. Com o surgimento das fábricas e com o aumento do volume de produção houve uma divisão do processo de produção em atividades de projeto, fabricação e comercialização. No século XX, após a Segunda Guerra Mundial, iniciaram-se estudos da atividade de projeto como uma disciplina independente. A partir de 1960 encontram-se obras de autores que tratam da atividade de desenvolvimento de produtos de uma forma mais sistemática: Asimov (1962), Cain (1969), Krick (1965), Vidosic (1969) e Woodson (1966).

Mais recentemente, na década de 1980, países como os Estados Unidos e a Inglaterra realizaram estudos para identificar razões da perda de competitividade de seus produtos. Nos estudos da ASME (1985, 1986) e de Wallace e Hales (1987), ficou evidenciado que essas perdas estavam associadas a deficiências na qualidade de projeto de seus produtos. Apontou-se o planejamento inadequado em ensino e pesquisa de princípios, teorias, metodologias e ferramentas de apoio ao projeto como um dos principais fatores. Na Alemanha, contudo, desde a década de 1970, desenvolveu-se um grande esforço de pesquisa nesta área do conheci-

mento, como mostram várias obras: Koller (1976), Pahl e Beitz (1977), Rodenacker (1976) e Roth (1982). Estas são obras publicadas e traduzidas em várias edições, até os dias atuais.

Após o estudo da ASME (1985), financiado pela *National Science Foundation* dos Estados Unidos, houve um grande impulso em pesquisas e publicações de resultados, introduzindo novos conceitos, dentre os quais se podem citar os seguintes: projeto para o ciclo de vida do produto; projeto para manufatura; projeto para montagem; projeto para qualidade total; projeto para competitividade; desdobramento da função qualidade, QFD; engenharia simultânea; desenvolvimento integrado do produto; sistemas especialistas em projeto etc. Algumas obras abordando esses aspectos estão listadas a seguir: Andreasen (1983), Blanchard e Fabrycky (1981), Boothroyd (1980), Clausing (1994), Nevins e Whitney (1989), Pugh (1991) e Ullman (1992).

No Brasil foram poucas as iniciativas de ensino e pesquisa nesta área de conhecimento. No Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, foram dados os primeiros passos, em 1976, introduzindo disciplinas de metodologia de projeto de produtos industriais, na graduação e na pós-graduação. No início da década de 1980, Back (1983) publicou a primeira obra em português sobre metodologia de projeto de produtos industriais. A partir dessa data vários centros brasileiros introduziram esta área de conhecimento em cursos de graduação e pós-graduação, geralmente nos cursos de engenharia mecânica, engenharia de produção e desenho industrial. Somente na década de 1990, com a abertura da economia brasileira, é que houve, por parte da indústria brasileira, uma grande procura de profissionais com competência em desenvolvimento de produto. Antes, a indústria brasileira pouco inovava em seus produtos, e o que mais funcionava era a adaptação de produtos do exterior, tanto por empresas nacionais quanto por internacionais, usando para essa prática um nome mais sofisticado, o de engenharia reversa.

A Tabela 1.1 dá uma breve idéia da evolução do conhecimento no domínio de desenvolvimento de produtos, sob a ótica da equipe de pesquisadores do NeDIP, do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.

Como se pode observar, foram dados novos enfoque e importância à área de conhecimento, entendendo que a qualidade, a competitividade, o custo e a redução do tempo de lançamento são, principalmente, alcançados no projeto do produto.

Tabela 1.1 Evolução no campo de conhecimento em projeto de produtos

Item	Cronologia das principais referências bibliográficas	Comentários sobre a obra
1	Asimov (1962)	Este foi o primeiro livro que apresentou, de forma mais orientada, as atividades desenvolvidas ao longo do processo de projeto de engenharia
2	Woodson (1966)	A obra, até esta data, apresentou a melhor visão sobre o abrangente processo de projeto de engenharia. Praticamente não usou o termo projeto ou desenvolvimento de produto, mas é uma boa obra e descreve, de forma sistemática, o desenvolvimento de projetos de engenharia
3	Cain (1969)	Esta talvez seja a primeira obra que adota o termo projeto de produtos e, pioneiramente, apresenta os capítulos: projeto para função; projeto para uso; projeto para aparência e projeto para manufatura. Foi muito oportuna na época
4	Pahl e Beitz (1972 - 74)	Foram publicados, neste período, 36 artigos na revista <i>Konstruktion</i> , descrevendo a prática de projeto como resultados de pesquisas de diversos centros na Alemanha. Este pode ser considerado um marco inicial e importante para a sistematização do processo de desenvolvimento de produtos
5	Koller (1976)	O autor apresentou uma metodologia de projeto de sistemas técnicos baseada em resultados de pesquisas desenvolvidas na Alemanha, semelhantes ao material citado no item 4
6	Rodenacker (1976)	Esta obra é semelhante ao livro de Koller. Também apresenta uma metodologia de desenvolvimento de sistemas técnicos. Os livros dos itens 5 e 6, para o seu tempo, eram de muito bom conteúdo
7	Pahl e Beitz (1977)	Os autores, no item 4, eram os editores dos artigos, cuja obra é a transformação deles em livro. A obra foi republicada, até o presente momento, em várias edições, inclusive em inglês. Provavelmente, estes dois autores são, mundialmente, os mais referenciados nessa área. Foi, e ainda é, uma excelente obra

continua

Tabela 1.1 Evolução no campo de conhecimento em projeto de produtos (continuação)

Item	Cronologia das principais referências bibliográficas	Comentários sobre a obra
8	VDI 2222 (1977)	As pesquisas realizadas na Alemanha e descritas nas obras dos itens 4 a 7 resultaram nesta norma que apresenta uma sistemática de projeto de sistemas técnicos. Em 1985, foi publicada a VDI 2221
9	Blanchard e Fabrycky (1981)	Esta obra é típica de engenharia de sistemas e foi o livro que, até aquela data, melhor apresentou uma visão global do processo de desenvolvimento de produtos. Tinha a visão de projeto do produto para o consumidor e para o ciclo de vida do produto, próxima da atual visão da engenharia simultânea
10	Back (1983)	Esta foi a primeira obra sobre metodologia de projeto de produtos industriais publicada em português. O conteúdo fez parte de duas disciplinas ministradas na pós-graduação em engenharia mecânica da UFSC e cobria aspectos de projeto do produto. Fundamentou as bases para pesquisa e ensino em metodologia de projeto e para o reconhecimento dessa área no Brasil
11	ASME (1985)	A pesquisa foi realizada pela ASME, procurando identificar as razões pelas quais os produtos dos Estados Unidos perdiam competitividade perante os produtos do Japão e da Alemanha. Constatou-se a baixa qualidade do projeto de seus produtos e, como principal causa, os descuidos no ensino e pesquisa na área de desenvolvimento de produtos
12	ASME (1986)	Este artigo apresenta recomendações e diretrizes para o ensino e a pesquisa na área. Os trabalhos dos itens 11 e 12 podem ser considerados um marco para o desenvolvimento dessa área, especialmente nos Estados Unidos e na Inglaterra
13	Wallace e Hales (1987)	De forma análoga ao item 11, este artigo aborda o correspondente estudo efetuado na Inglaterra

continua

Tabela 1.1 Evolução no campo de conhecimento em projeto de produtos (continuação)

Item	Cronologia das principais referências bibliográficas	Comentários sobre a obra
14	Clausing (1994), Kusiak (1993) e Ullman (1992)	Estas três obras representam muito bem um número elevado de publicações, que surgiram a partir do fim da década de 1980, nas quais são descritas metodologias de desenvolvimento de produtos com as visões de engenharia simultânea, qualidade total, desenvolvimento integrado ou projeto para competitividade

Como se pode verificar por meio das obras mostradas na Tabela 1.1, a partir dos meados da década de 1980, a área de desenvolvimento de produtos recebeu grande atenção, resultando numa avalanche de publicações, novos termos, conceitos e siglas. Para citar exemplos, tem-se a seguir, traduzidos para o português, vários termos encontrados na literatura inglesa:

- projeto para o ciclo de vida do produto (*Design for Life Cycle – DFLC*);
- projeto para o consumidor (*Design for Consumer*);
- projeto para custo (*Design for Cost – DFC*);
- projeto para manufatura (*Design for Manufacturing – DFM*);
- projeto para montagem (*Design for Assembly – DFA*);
- projeto para meio ambiente (*Design for Environment – DFE*);
- projeto para confiabilidade (*Design for Reliability*);
- projeto para manutenibilidade (*Design for Maintainability*);
- engenharia simultânea (*Concurrent Engineering – CE*);
- projeto para qualidade (*Design for Quality – DFQ*);
- projeto para competitividade (*Design for Competitiveness*);
- desenvolvimento integrado do produto (*Integrated Product Development – IPD*).

Assim se poderia estender por muitos outros conceitos, termos e siglas. Dentro desses conceitos, o importante é destacar que surgiram duas linhas principais de pensamento. A primeira é que o projeto deve ser elaborado tendo em vista certas características ou qualidades do produto. Como

exemplos nesta linha tem-se projetos para: custo; manufatura; montagem; confiabilidade; manutenibilidade; meio ambiente; entre outros. A segunda linha refere-se ao processo de desenvolvimento do produto, quanto à multidisciplinaridade, ao ciclo de vida do produto, à integração de equipes e à simultaneidade de atividades de desenvolvimento. Nesta linha podem ser enquadrados: projeto para o ciclo de vida do produto; engenharia simultânea; projeto para a qualidade; projeto para competitividade e desenvolvimento integrado do produto.

Esses princípios, procedimentos, técnicas ou ferramentas serão objeto de estudo em capítulos posteriores.

1.4 Desenvolvimento de produtos e sua importância para a competitividade

De acordo com Coutinho e Ferraz (1994), o desempenho competitivo é condicionado por um vasto conjunto de fatores, que podem ser subdivididos em: internos à empresa, de natureza estrutural, pertinentes aos setores e complexos industriais; e de natureza sistêmica, como mostra a Figura 1.1.

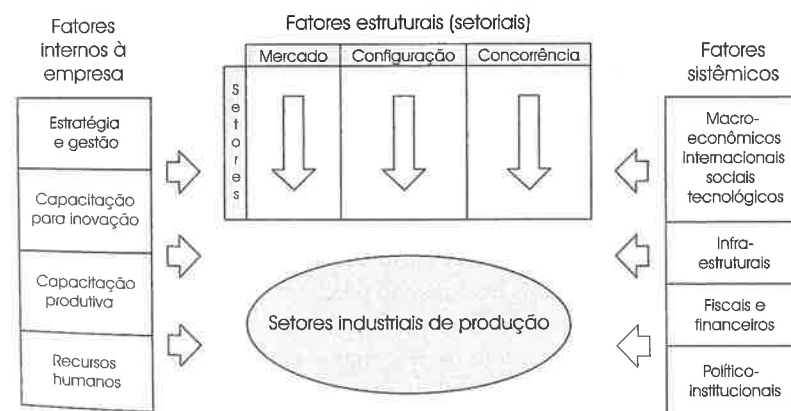


Figura 1.1 Fatores determinantes da competitividade da indústria (adaptado de Coutinho e Ferraz, 1994).

Os fatores internos à empresa são os que estão sob a sua esfera de decisão e por meio dos quais ela procura se distinguir de seus competidores.

Incluem os estoques de recursos acumulados pela empresa, as vantagens competitivas que possui e sua capacidade de ampliá-las. Podem-se citar, entre outros: a capacidade tecnológica e produtiva; a qualidade e a produtividade de seus recursos humanos; o conhecimento do mercado e a capacidade de se adequar às suas especificidades; a qualidade e a amplitude de serviços pós-vendas; e as relações privilegiadas com usuários e fornecedores.

Os fatores estruturais são aqueles que, mesmo não sendo inteiramente controlados pela organização, estão parcialmente sob sua área de influência e caracterizam o ambiente competitivo que ela enfrenta diretamente. Esses fatores se relacionam às características dos mercados consumidores, à configuração da indústria em que a empresa atua e à concorrência.

Os fatores sistêmicos podem ser macroeconômicos, político-institucionais, regulatórios, infra-estruturais e sociais.

Quanto aos fatores internos, em uma empresa produtora de bens ou produtos, o fundamental é a qualidade dos mesmos, que tem, atualmente, um conceito bem amplo, isto é, a qualidade deve estar integrada ao produto em todo o ciclo de vida. O ponto de partida é o projeto do produto, no qual devem ser considerados os aspectos de qualidade, desde a atividade de identificação das necessidades até o descarte.

Hoje em dia estão superadas as visões econômicas tradicionais que definiam a competitividade como uma questão de preços, custos e taxas de câmbio. A Figura 1.2 destaca as primeiras fases do projeto do produto e ainda pode ser útil para uma análise do processo de projeto sob um ponto de vista atual. Pode-se constatar que o custo do produto fica praticamente comprometido com as tomadas de decisão nas primeiras fases do ciclo de vida, isto é, até concluir o projeto detalhado. Como já foi apresentado por Downey (1969) e, mais tarde, por Barton, Love e Taylor (2001), isso representa cerca de 70% ou mais do custo do produto.

Ainda sob a ótica do custo, é interessante observar, na Figura 1.3, que o custo do projeto é da ordem de 5%, mas o efeito de decisões tomadas nesta fase afeta 70% do custo total do produto.

Já a Figura 1.4 destaca a importância da atividade de desenvolvimento do produto. Indica que mudanças a serem feitas, se necessárias, custam muito pouco no início do desenvolvimento, mas, à medida que o processo vai avançando nas diferentes fases, esse custo poderá alcançar um fator dez vezes superior em relação à fase anterior.

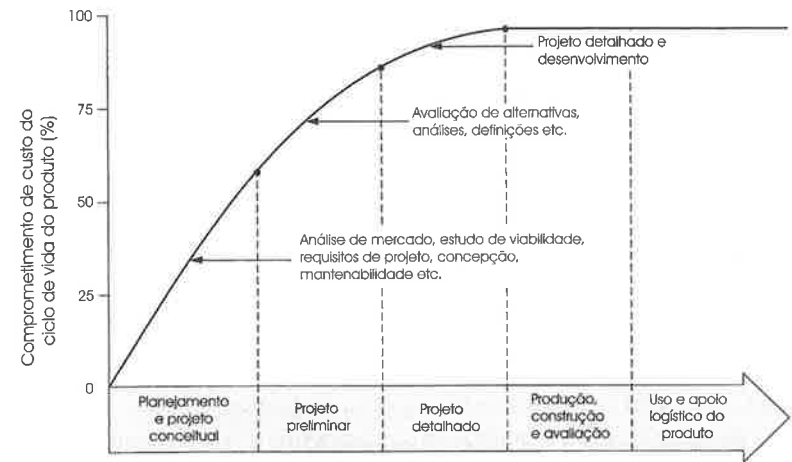


Figura 1.2 Efeitos das diferentes fases do ciclo de vida sobre o custo do produto (Downey, 1969).

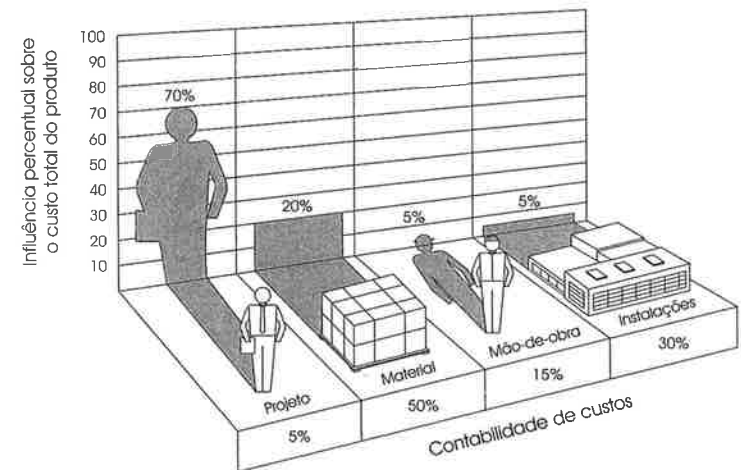


Figura 1.3 Influências sobre o custo do produto, devido às decisões tomadas, referentes ao projeto, ao material, à mão-de-obra e às instalações (Smith e Reinertsen, 1991).

Como se pode observar, as Figuras 1.2 a 1.4 mostram a influência da atividade de projeto sobre o custo do produto, em sua produção ou ao longo de todo o ciclo de vida. De forma semelhante, pode-se analisar os

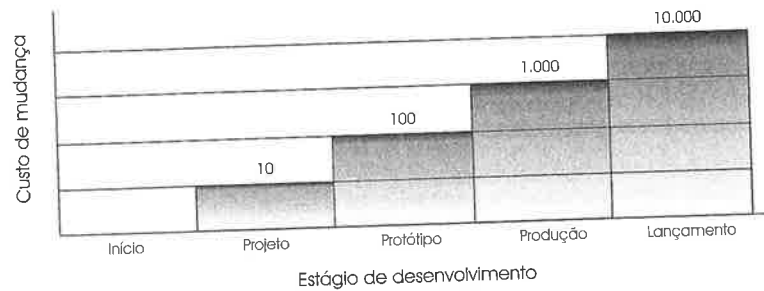


Figura 1.4 Efeito de escala de custos de mudanças do produto nas diversas fases de desenvolvimento (Huthwaite e Schneberger, 1992).

efeitos do projeto de produto sob **uma ótica mais atual**, considerando conceitos de valor agregado, qualidade ou competitividade do produto.

Baseado nas observações anteriores, **verifica-se que**, na atualidade, a competitividade dos produtos depende fundamentalmente da atividade de projeto tendo em vista os seguintes fatos:

- de 70% a 90% do custo do ciclo de vida do produto já está comprometido com as decisões tomadas até o final do projeto do produto (Barton, 2001);
- o projeto conceitual de um produto deve ser bem elaborado de início, para evitar os elevados custos de modificações em estágios avançados do desenvolvimento (Huthwaite e Schneberger, 1992);
- a aplicação de metodologias ou procedimentos de desenvolvimento integrado do produto ou de engenharia simultânea têm apresentado consideráveis vantagens nos seguintes aspectos: redução de tempo de desenvolvimento do produto, redução de modificações do projeto e aumento da qualidade sob diversos aspectos.

De acordo com Dixon (1991), as melhores práticas de desenvolvimento de produtos, retiradas de um levantamento efetuado junto a empresas mundialmente reconhecidas e competitivas, incluindo Xerox, Polaroid, Ford, Hewlett-Packard, Carrier e GE, são as relacionadas a seguir:

- mecanismos para obtenção e consideração de novas e melhoradas idéias de produtos e processos, de consumidores, de colaboradores e de mercado. Esse processo é facilitado e apoiado por um contínuo fluxo de informações de novas metodologias, materiais e tecnologias;

- mecanismos para seleção de novas idéias para estudos preliminares relativos ao projeto, potencial de mercado, fabricação, custos e estratégias empresariais;
- emprego da engenharia simultânea usando equipes multifuncionais para obtenção da integração da função do produto, dos processos de manufatura, aspectos de mercado e outras considerações do ciclo de vida durante o processo de realização do produto;
- estabelecimento de pontos e critérios de decisão bem definidos e de participantes de decisão, durante o processo de realização do produto;
- uso máximo da computação no desenvolvimento de protótipos, métodos e tecnologias de simulação;
- especial atenção ao papel de protótipos, seus propósitos, números, tempos e tecnologias;
- constante pesquisa visando à substituição de materiais;
- comprometimento total da empresa com qualidade, custo e prazos de lançamento do produto no mercado;
- especial atenção ao controle de processos visando à alta qualidade ao produto;
- especial atenção a tolerâncias;
- estabelecimento e contínuo refino das medidas de qualidade do produto, do desempenho do projeto e dos processos de manufatura;
- crescente ênfase na integração de sistemas de tecnologias mecânicas, eletrônicas, ópticas e de computação;
- uso máximo de concepções baseadas em custos;
- uso máximo de tecnologias computacionais, CAD, modelagem sólida, de montagem;
- outras metodologias e tecnologias específicas, tais como projeto para manufatura, montagem, confiabilidade, segurança, manutenibilidade, apoio logístico etc.

1.5 O ensino para o desenvolvimento de produtos e seu valor estratégico no Brasil

Durante muito tempo se pensou que a capacitação no domínio de desenvolvimento de produtos apenas poderia ser plenamente adquirida com

muitos anos de experiência e, também, por profissionais que tinham certas aptidões especiais. Dessa forma, pouco se pesquisava por princípios, métodos, ferramentas ou metodologias de projeto de produtos industriais. Até o fim da década de 1970, havia uma ampla literatura de projeto, mas de projetos específicos e mais voltados ao dimensionamento, como projeto de elementos de máquinas, de máquinas operatrizes, de veículos automotores, de vasos e tubulações sob pressão, sistemas hidráulicos, instalações hidráulicas e elétricas etc. Dentro do mesmo estilo estavam as disciplinas ministradas nos cursos tradicionais de engenharia e arquitetura.

Em meados da década de 1970, como já foi mencionado no item 1.3, iniciou-se na Alemanha um grande esforço de pesquisa por princípios, métodos e metodologias genéricas de projeto de produtos industriais, que resultou em obras de ensino de projeto (*Konstruktionslehre*) e de metodologia de projeto (*Methodisches Konstruieren*), como mostram as publicações de Koller (1976), Pahl e Beitz (1977), Rodenacker (1976) e Roth (1982). Essas obras são, em várias edições, bons textos para o ensino, dando uma visão ampla do processo de projeto de produtos, mas não sob o ponto de vista da engenharia simultânea ou de um processo integrado. Na Alemanha, surgiram vários centros de excelência no ensino e pesquisa nessa área, tais como Aachen, Berlin, Braunschweig e Ilmenau.

Nos Estados Unidos, o ensino e a pesquisa surgiram com maior intensidade a partir dos resultados publicados pela ASME (1985; 1986). Publicações de Blanchard e Fabricky (1981), Clausing (1994), Pugh (1991), Otto e Wood (2001) e Ullman (1992) são alguns dos exemplos de bons textos para o ensino de desenvolvimento de produtos, com uma visão de desenvolvimento integrado de produtos ou de engenharia simultânea. O ensino, nessa área, foi desenvolvido majoritariamente em cursos de engenharia de produção de instituições como Instituto Politécnico da Virginia, Instituto de Tecnologia de Massachusetts, Universidade do Texas, Universidade de Iowa etc.

A Tabela 1.2 mostra uma proposta de conteúdo de conhecimento para capacitação de projetistas, que é uma adaptação da proposta de Dixon (1991). Essas recomendações, de capacidades de projetistas de produtos industriais, estão baseadas em levantamentos das melhores práticas de empresas competitivas, efetuados no trabalho da ASME (1985).

No Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, o ensino nessa área teve início em 1976, introduzindo no curso de pós-graduação em

engenharia mecânica duas disciplinas de projeto de produtos industriais, adotando como material didático textos típicos dos autores Back (1983), Blanchard e Fabricky (1981), Koller (1976), Pahl e Beitz (1977) e Rodenacker (1976). Para ampliar o conhecimento e a prática nessa área, eram propostas e desenvolvidas dissertações de mestrado e teses de doutorado tendo como temas o desenvolvimento de protótipos de máquinas e equipamentos. Esses trabalhos tinham como conteúdos os seguintes aspectos: levantamento e estabelecimento das especificações de projeto; desenvolvimento de concepções alternativas; seleção da melhor concepção; projeto preliminar e detalhado; construção e testes do protótipo; e, se necessárias, sugestões para melhoramentos do protótipo. Essa prática tem motivado muitos alunos que desenvolveram um número considerável de protótipos, principalmente de máquinas e implementos agrícolas para agricultura de pequeno porte ou agricultura familiar.

Tabela 1.2 Recomendações para capacitação de projetistas de produtos industriais (Dixon, 1991)

Item	Capacidades dos projetistas	Desdobramento das capacidades típicas necessárias ao projetista
1	Projeto de engenharia no contexto do negócio	Conhecer os passos essenciais do processo de realização de produtos e os processos de <i>benchmarking</i> competitivo. Compreender o impacto do projeto sobre marketing, finanças, manufatura e estratégia da empresa na realização de produtos; dos tipos e propósitos dos protótipos; da qualidade, custo e tempo de lançamento no processo de desenvolvimento de produtos
2	Engenharia simultânea e princípios de trabalho em equipe	Conhecer os conceitos e práticas dos processos de projeto num ambiente de engenharia simultânea, bem como a prática de trabalho e de tomada de decisão em equipes multidisciplinares e multiculturais. Saber elaborar e apresentar relatórios efetivos
3	Manufatura	Conhecer os processos de manufatura, suas características físicas, economias, práticas e tolerâncias; conhecer e praticar os métodos de projeto para manufatura, montagem e ciclo de vida e os métodos estatísticos de controle de processos

continua

Tabela 1.2 Recomendações para capacitação de projetistas de produtos industriais (Dixon, 1991) (continuação)

Item	Capacidades dos projetistas	Desdobramento das capacidades típicas necessárias ao projetista
4	Análise e prototipagem	Conhecer e praticar selecionados métodos de modelagem computacional e de processos analíticos; desenvolver modelos para análise e simulação de projetos; conhecer métodos de prototipagem rápida
5	Estatísticas	Conhecer e saber usar estatística, probabilidade, teoria da decisão e princípios de projeto de experimentos
6	Projeto de sistemas	Conhecer e saber usar princípios de projeto e integração de sistemas que deverão conter elementos mecânicos, eletrônicos, ópticos e de computação
7	Projeto assistido por computador – CAD	Conhecer e saber aplicar sistemas CAD, CAE, CIM e equivalentes
8	Teoria e metodologia de projeto	Conhecer os principais modelos descritivos, prescritivos e computacionais de processos de projeto de produtos industriais. Por exemplo, a metodologia de Pahl e Beitz
9	Projeto e otimização de componentes e sistemas	Saber projetar, reprojetar, avaliar, dimensionar e otimizar componentes e sistemas, considerando o seu desempenho técnico, de manufatura, custo e outros aspectos do ciclo de vida do produto. Saber formular problemas para otimização e desempenhar selecionados métodos de otimização
10	Projeto de montagens e de tolerâncias	Saber projetar, reprojetar e avaliar montagens mecânicas considerando o desempenho técnico, de manufatura, custo, tolerância e outros aspectos do ciclo de vida
11	Novas informações e aprendizagem	Manter-se informado e aprender sobre novos materiais, tecnologias e processos, quando necessários, por meio de leituras, discussões, conferências técnicas e de negócios

Em 1997, o Laboratório de Projeto foi convertido no atual Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos – NeDIP – e foram introduzidas novas disciplinas na pós-graduação: projeto conceitual; modelagem e simulação de sistemas mecânicos; projeto para manufatura; projeto para

confiabilidade e manutenibilidade; gerenciamento de desenvolvimento de produtos; sistemas CAE/CAD/CAM; e técnicas de sistemas especialistas aplicados ao projeto. Na graduação do curso de engenharia mecânica da UFSC, onde se teve menos flexibilidade para inovações, foram introduzidas poucas disciplinas optativas, entre as quais: metodologia de projeto e manutenibilidade de sistemas mecânicos. Na reforma curricular implementada, maior ênfase está sendo dada a essa área pela definição desses conteúdos como obrigatórios.

Desde as atividades de ensino iniciadas em 1974 até os anos 1990, a demanda na indústria brasileira por profissionais dessa área era pequena. Foi a época das restrições às importações em que muito se copiava. Sobreviviam produtos de baixa qualidade, devido à falta de interesse e de investimento em projeto.

A partir do início dos anos 1990, com a abertura da economia brasileira, houve, por parte de instituições de ensino superior e da indústria, uma procura muito grande por profissionais nessa área.

Atualmente, a indústria nacional precisa inovar concepções e desenvolver produtos, de alta e integrada qualidade, para alcançar a necessária competitividade. Para conseguir essa competitividade, um dos fatores importantes é a capacitação de profissionais com conhecimento e formação para trabalho em equipes, dentro de ambientes de engenharia simultânea, como descrito anteriormente. Essa consciência, tanto na formação de profissionais em diversas instituições brasileiras de ensino superior e na organização de congressos como nas indústrias pela adoção de metodologias avançadas de desenvolvimento de produtos, tem evoluído muito a partir de 1990. No Brasil, várias empresas já adotam processos de desenvolvimento integrado de produtos ou de engenharia simultânea, conceitos que há dez anos eram somente temas acadêmicos. Cabe aqui mencionar alguns exemplos de empresas pioneiras no Brasil, como Embraco, Embraer, Multibrás, AGCO do Brasil e John Deere do Brasil, que vêm igualmente cooperando com a academia para o desenvolvimento de pesquisas e capacitação de profissionais nessa área.

Cabe advertir às instituições e empresas nacionais, mesmo que sejam de médio a pequeno porte, que, para o Brasil se tornar uma nação avançada, competitiva, com poder e real equilíbrio nos diversos acordos de comércio exterior, é necessário conscientizar-se do caráter estratégico da capacitação de profissionais para o desenvolvimento de produtos de

alta tecnologia e de valor agregado, dentro de conceitos modernos abordados nesta obra.

O Brasil é competitivo em uma série de produtos, mas, em sua maioria, possuem pouco valor agregado, como café, soja, suco de laranja, celulose e minério de ferro. O preço desses produtos, quando comparado ao de produtos de alta tecnologia, é muito baixo. Consideram-se alguns exemplos do comércio mundial de mercadorias: 1 kg de soja custa US\$ 0,10, 1 kg de automóvel custa US\$ 10, isto é, 100 vezes mais; 1 kg de aparelho eletrônico custa US\$ 100; 1 kg de avião custa US\$ 1.000 (10 mil quilos de soja); e 1 kg de satélite custa US\$ 50.000. Uma placa de computador que pesa 100 g é comprada por US\$ 250. Para pagá-la, o Brasil precisa exportar 20 toneladas de minério de ferro. Quanto mais tecnologia agregada tem um produto, maior é o seu preço e mais empregos foram gerados na sua fabricação. Os países desenvolvidos sabem muito bem disso. Eles investem na pesquisa científica e tecnológica e na capacitação de profissionais capazes de desenvolver esses produtos, o que cria muitos empregos, enquanto a extração de minério de ferro possibilita a geração de poucos e mal remunerados empregos no Brasil.

1.6 Perspectivas no ensino e na pesquisa em desenvolvimento de produtos

Nos últimos anos tem-se publicado muitas pesquisas sobre metodologias mais eficazes de desenvolvimento de produtos industriais e sobre experiências e métodos de ensino, visando à capacitação em cursos convencionais de graduação e de pós-graduação, bem como à capacitação continuada de profissionais, procurando encurtar o tempo de formação e aumentar a produtividade e a eficácia de equipes que atuam em problemas de desenvolvimento de produto.

Segundo experiências do NeDIP e de vários outros relatos, como de Dixon (1991) e de Lovejoy e Srinivasan (2002), o curso de desenvolvimento de produto deve apresentar um conjunto de disciplinas genéricas básicas, conforme já discutido no item anterior, e uma atividade prática de desenvolvimento de produto na forma mais próxima possível do que ocorre em um ambiente industrial.

Na graduação, além das disciplinas dos cursos de formação, recomenda-se a introdução de, pelo menos, quatro disciplinas: metodologia de pro-

jeto; gerenciamento de projetos, noções de desenvolvimento integrado ou de engenharia simultânea e princípios básicos de custos e organização de negócios.

Na pós-graduação, como mestrado profissionalizante ou curso de especialização, recomenda-se um elenco de disciplinas básicas cobrindo os seguintes aspectos: processo de desenvolvimento de produtos; engenharia simultânea; gerenciamento do desenvolvimento de produtos; modelagem e análise computacional de soluções; metodologia de seleção de materiais e de processos de fabricação; métodos de estimativas e avaliação de custos; otimização integrada de produtos; dependabilidade de produtos, também denominada de garantia de funcionamento; prototipagem rápida; e métodos de ensaios e validação de produtos.

Para tornar mais eficaz a capacitação de profissionais nessa área, é fundamental a realização de uma atividade prática de desenvolvimento de um produto industrial, de complexidade e intensidade de trabalho, compatíveis com o tempo e os recursos disponíveis, com as seguintes recomendações:

- as informações a serem apresentadas devem ser na forma de necessidades detectadas ou especificações de um produto que deve ser projetado e não uma descrição de algo já projetado ou existente que precisa ser analisado;
- permitir a formação de equipes de três a cinco membros com as capacidades principais necessárias, por exemplo, para desenvolver um protótipo de máquina agrícola: engenharia mecânica, engenharia agrícola, desenho industrial, previsão e análise de custos e instrumentação;
- os problemas de projeto devem ser tais que possibilitem à equipe tomar decisões com o objetivo de gerar alternativas de soluções, que atendam a um determinado segmento de mercado, um preço de venda e que se possa fabricar um protótipo com os recursos disponíveis;
- a equipe de desenvolvimento deve tomar decisões quanto à escolha da melhor solução, não somente em termos de desempenho técnico, mas de custos, manufaturabilidade e otimização dos vários aspectos do ciclo de vida do produto;
- o projeto deve ser viável quanto à fabricação de um protótipo, que seja testado e submetido à avaliação de possíveis usuários, para que a equipe tenha retorno de avaliações do projeto realizado.

Para facilitar e tornar mais eficiente a capacitação de profissionais e o processo de desenvolvimento de produtos vem-se, ainda atualmente, investindo consideráveis recursos em pesquisas, tendo como principais enfoques:

- organização e gerenciamento de equipe de desenvolvimento de produtos, visando a melhorar desempenho, eficiência e eficácia;
- desenvolvimento de sistemas de avaliação do desempenho de equipes de projeto e da qualidade do projeto;
- sistematização do conhecimento para o projeto de produtos industriais. Essa sistematização tem como objetivos principais o ensino e o desenvolvimento de sistemas computacionais de suporte ao projeto. Dentro dessa linha de pesquisa, tem-se os seguintes exemplos de trabalhos: Ogliari (1999), com a sistematização da concepção, auxiliada por computador, de componentes de plástico injetado; e Maribondo (2000), com a sistematização do processo de projeto de sistemas modulares;
- desenvolvimento de sistemas especialistas de projeto de determinados domínios de produtos. Como exemplo é possível citar Silva (1998), que desenvolveu um sistema especialista para projeto de sistemas hidráulicos focando em aspectos de engenharia simultânea;
- sistemas computacionais para o desenvolvimento virtual de produtos ou prototipagem virtual que consiste na aplicação de avançados sistemas de tecnologia de informações nas atividades do ciclo de vida do produto (marketing, concepção, modelagem, análise, manufatura, testes, apoio logístico e descarte) em ambientes eletrônicos.

1.7 Resumo

A sistemática adotada neste livro levou os autores a apresentar no final de cada capítulo um resumo recuperando os pontos-chave para os leitores. Neste sentido, apresentam-se os principais aspectos deste capítulo:

1. *O desenvolvimento do produto compreende aspectos de planejamento e projeto, ao longo das fases pelas quais passa o produto, desde planejamento, pesquisa de mercado, projeto do produto, projeto do processo de fabricação, distribuição, uso, manutenção e descarte.*

2. *Produto refere-se a um objeto concebido, produzido industrialmente com determinadas características e funções, comercializado e usado de modo a satisfazer as necessidades ou desejos de pessoas ou organizações.*
3. *Para desenvolver um projeto de produto com eficiência e eficácia é necessário saber o que fazer, para quem fazer, quando fazer, com que fazer e como fazer. Esta sistemática de desenvolver o projeto de produtos denomina-se metodologia de projeto de produtos.*
4. *Desenvolvimento integrado do projeto do produto é uma metodologia por meio da qual uma equipe multidisciplinar desenvolve um projeto, considerando simultaneamente, ao longo do seu desenvolvimento, as necessidades e restrições do ciclo de vida do produto.*
5. *O desenvolvimento de metodologias de projeto de produtos apresenta três marcos importantes na sua evolução: na Alemanha, com a publicação dos trabalhos de Pahl e Beitz (1972-1974); nos Estados Unidos, com os trabalhos da ASME (1985, 1986); e no Brasil, com a primeira obra em português por Back (1983).*
6. *A partir do início dos anos 1990, surgiram duas novas linhas de metodologias de desenvolvimento do projeto de produtos. Dentro da primeira, a de qualidades específicas, tem-se os conceitos de projeto para manufatura, para montagem, para custo e tantos outros que podem ser englobados dentro do termo geral de projeto para x (Design for X). Na segunda linha do processo de desenvolvimento do projeto, tem-se projeto para o ciclo de vida do produto, engenharia simultânea, projeto para competitividade e projeto da qualidade total, que representam a linha de desenvolvimento integrado do projeto do produto.*
7. *Com a globalização da economia, as empresas tiveram de tornar seus produtos competitivos para fazer frente à concorrência internacional. Isso levou à necessidade de produtos diferenciados, de alto valor agregado e de elevada qualidade, que são conseguidos, fundamentalmente, com a alta qualidade do projeto do produto.*
8. *Alta qualidade de projeto só se consegue com equipes altamente competentes e capacitadas para o trabalho integrado no desenvolvimento do projeto.*
9. *O Brasil, para transformar-se numa economia avançada e competitiva, precisa investir pesadamente na pesquisa e na capacitação de profissionais no domínio de conhecimento de desenvolvimento de produtos de alta tecnologia, pois dificilmente se consegue um saldo positivo estável com a predominância de produtos primários, como é o caso atual.*

10. Além da formação básica dos diversos profissionais que atuam em equipes de desenvolvimento, é recomendável uma capacitação através de disciplinas básicas genéricas (planejamento estratégico, gerenciamento de projetos, processo de desenvolvimento de produtos, engenharia simultânea, modelagem e análise computacional de soluções, seleção de materiais e de processos de fabricação, métodos de estimativas e avaliação de custos, otimização integrada de produtos, prototipagem rápida, dependabilidade de produtos, ensaios e validação de protótipos) e trabalho prático (em equipe multidisciplinar) de desenvolvimento de produto, desde a atividade de identificação das especificações de projeto até a construção e avaliação do protótipo.

1.8 Problemas e temas de discussão

1. Quais são as principais razões que levaram à necessidade atual de desenvolvimento de um produto através de uma equipe multidisciplinar?
2. Quais são as capacidades típicas dos profissionais que integram uma equipe de desenvolvimento integrado de produtos?
3. Apresente um exemplo de problema de desenvolvimento de produto que requer uma equipe multidisciplinar e identifique as disciplinas necessárias.
4. Discuta as possíveis razões que levaram a considerar, somente em anos recentes, a área de projeto de produtos como uma ciência que pode ser pesquisada por princípios, ferramentas, metodologias, sistematizando o processo de desenvolvimento e, assim, capacitando os profissionais com cursos formais, não somente por uma longa experiência prática.
5. Quais são as razões que levaram, com a globalização, a considerar estratégico o domínio de conhecimento de desenvolvimento de projeto de produtos?
6. Na literatura, tem-se o termo ciclo de vida para expressar dois conceitos do produto. Quais são esses dois conceitos e quais são suas principais diferenças?
7. Quais são as fases típicas pelas quais passa um produto em seu ciclo de vida? Escolha um produto e defina as fases de seu ciclo de vida.
8. Na literatura, tem-se relatado e discutido várias experiências e formas de capacitação de profissionais para integrar equipes de desen-

- volvimento de produtos. Discuta essas experiências e formas e apresente, com justificativas, o modo mais eficaz, segundo sua opinião.
9. Discuta as formas e os conteúdos de cursos para capacitação de profissionais aptos a trabalhar em equipe de desenvolvimento de projetos de produtos.
 10. Quais argumentos usaria para justificar a afirmação "o principal fator para a competitividade de produtos industriais é a qualidade de seus projetos"?
 11. Faça comentários sobre a validade da seguinte afirmação: "o custo de modificações, se necessárias de uma fase para outra do desenvolvimento, é acrescido de um fator de dez".
 12. Por que é importante para as empresas dominarem o processo de desenvolvimento de produtos?
 13. Pesquise na internet, usando as palavras significativas deste texto e das referências, e identifique congressos, revistas e países onde os mesmos são publicados.
 14. Discuta o uso de metodologias de desenvolvimento integrado de produtos nas empresas brasileiras, quem usa, como usam e o que fazer para que todos usem.

1.9 Referências bibliográficas

- ANDREASEN, M. *Design for assembly*. United Kingdom, Springer Verlag, 1983.
- ASIMOV, M. *Introduction to design: fundamentals of engineering design*. New Jersey, Prentice Hall, 1962.
- ASME - National Science Foundation. "Goals and priorities for research on design theory and methodology". *Technical report*, 1985.
- ASME RESEARCH. "Design theory and methodology: a new discipline". *Mechanical Engineering*. 1986, p.23-27.
- BACK, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.
- BARTON, J. A.; LOVE, D. M.; TAYLOR, G. D. "Design determines 70% of cost? A review of implications for design evaluation". *Journal of Engineering Design*. v.12, n.1, 2001, p.47-58.
- BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. *Systems engineering and analysis*. New Jersey, Prentice Hall, 1981.

- BOOTHROYD, G. *Design for assembly: a designer's handbook*. Massachusetts, University of Massachusetts, 1980.
- CAIN, W. D. *Engineering product design*. London, Business Books Ltd., 1969.
- CLAUSING, D. *Total quality development – a step-by-step guide to world-class concurrent engineering*. New York, ASME Press, 1994.
- COUTINHO, L.; FERRAZ, J. C. *Estudo da competitividade da indústria brasileira*. Campinas, Papirus, 1994.
- DIXON, J. R. "Engineering Design Science: new goals for engineering education". *Mechanical Engineering*. v.113, n.3, 1991, p.56-62.
- DOWNNEY, W. G. *Development of cost estimating. Report of the Steering Group for de Ministry of Aviation*. England, HMSO, 1969.
- FERREIRA, A. B. H. *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. 2.ed. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1986.
- FOWLER, H. W.; FOWLER, F. G. *The Concise Oxford Dictionary of Current English*. 5.ed., Oxford, Oxford University Press, 1964.
- HUTHWAITE, B.; SCHNEBERGER, D. *Design for competitiveness: the teamwork approach to product development*. EUA: Institute for Competitive Design, 1992.
- KOLLER, R. *Konstruktionslehre für den Maschinen, Geräte und Apparatebau*. Berlin, Springer Verlag, 1976.
- KRICK, E. V. *An introduction to engineering and engineering design*. New York, John Wiley & Sons, 1965.
- KUSIAK, A. *Concurrent engineering: automation, tools and techniques*. New York, John Wiley & Sons, 1993.
- LOVEJOY, W. S.; SRINIVASAN, V. "Perspective: ten years of experience teaching a multi-disciplinary product development course". *The Journal of Product Innovation Management*. v.19, n.1, 2002, p.32-45.
- MARIBONDO, J. de E. "Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares". Florianópolis, 2000. 277p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- NEVINS, J. L.; WHITHEY, D. L. *Concurrent design of products and processes*. New York, McGraw-Hill, 1989.
- OGLIARI, A. "Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plás-

- tico injetado". Florianópolis, 1999. 349p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- OTTO, K.; WOOD, K. *Product design: techniques in reverse engineering and new product development*. New York, Prentice Hall, 2001.
- PAHL, G.; BEITZ, W. "Für der Konstruktions Praxis". *Konstruktion*. 1972 a 1974.
- PAHL, G.; BEITZ, W. *Konstruktionslehre*. Berlin, Springer Verlag, 1977.
- PUGH, S. *Total design*. Wokingham, Addison Wesley, 1991.
- RODENACKER, W. G. *Methodisches Konstruieren*. Berlin, Springer Verlag, 1976.
- ROTH, K. *Konstruieren mit Konstruktions Katalogen*. Berlin, Springer Verlag, 1982.
- SILVA, J. C. "Expert system prototype for hydraulic system design focusing on concurrent engineering aspects". Florianópolis, 1998. 185p. Tese (doutorado). PPGEM – UFSC.
- SMITH, P. G.; REINERTSEN, D. G. *Developing products in half the time*. New York, Van Nostrand Reinhold, 1991.
- ULLMAN, D. G. *The mechanical design process*. New York, McGraw-Hill, 1992.
- VIDOSIC, J. P. *Elements of design engineering*. EUA, John Wiley & Sons, 1969.
- VDI 2222. *Konstruktionsmethodik, konzipieren technischer Produkte*. Düsseldorf, VDI – Verlag, 1977.
- VDI 2221. *Methodik zum entwickeln und konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf, VDI – Verlag, 1985.
- WALLACE, K. M.; HALES, C. "Some applications of a systematic design approach in Britain". *Konstruktion*. n.7, 1987, p.275-279.
- WOODSON, T. T. *Introduction to engineering design*. New York, Mc-Graw-Hill, 1966.