



UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



**O TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COMO PROJETO DE
ENGENHARIA: NORMAS E RECOMENDAÇÕES COM USO DE
MICROSOFT WORD®**

PROF. ENG. ELETR. LUIS FERNANDO ESPINOSA COCIAN, MSc.

Canoas - RS - Fevereiro de 2007

Prefácio

O Trabalho de Conclusão de Curso é um dos requisitos legais para a obtenção do título de Engenheiro. Ele deve englobar os conhecimentos obtidos durante o curso e deve observar os objetivos previstos para a formação do engenheiro.

Por muito tempo tenho observado que os trabalhos de conclusão de curso em engenharia são entendidos como projetos de pesquisa, dirigidos para tais e formatados como tais. Em geral a classificação do TCC é enquadrada na norma NBR 14724 que define os Trabalhos Acadêmicos.

O MEC estabeleceu a política de promover a contratação de professores engenheiros com cursos de mestrado e doutorado e em tempo integral para os cursos de engenharia, como sendo um dos índices de qualidade do corpo docente para um determinado curso. Esta política é muito boa para cursos que tratam de ciências puras, porém pode ser nocivo para a formação de engenheiros. Existem muitos professores nos cursos de engenharia que nunca saíram da academia e que não conhecem o verdadeiro mundo da Engenharia. Em geral, pessoas intelectualmente bem dotadas, porém sem experiência profissional além da participação em congressos, salas da aula e atuação em pesquisa.

A docência é uma das atividades do engenheiro, porém essa única atividade não é suficiente para se tornar um engenheiro profissional. Pode um engenheiro que nunca trabalhou como engenheiro ser um bom professor de engenharia? Como ele pode ensinar uma prática profissional que realmente não conhece, porque nunca a executou? Como ele sabe o que precisa ensinar e o que o aluno pode aprender sozinho?

As respostas às perguntas acima são difíceis de responder. Existem engenheiros “natos” que não precisaram trabalhar como engenheiros, mas que são excelentes professores de engenharia. Assim também, existem professores por demais hábeis nas atividades de pesquisa pura, que não durariam uma semana num escritório de engenharia, e que não são bons professores.



Um bom curso de engenharia deverá equilibrar o seu tipo de corpo docente com professores que atuam como engenheiros e professores pesquisadores que atuam como consultores¹.

Noventa por cento dos engenheiros formados são absorvidos por empresas de construção, produção e serviços. Somente 10% continuam a vida acadêmica. Se for assim, por que 100% dos TCC têm de ser puramente acadêmicos? Quando um engenheiro irá redigir uma monografia no seu escritório de engenharia? Por que o TCC tem que ser um trabalho puramente acadêmico? O TCC pode também ser um trabalho profissional?

Os TCC em engenharia como trabalhos de pesquisa pura são bastante interessantes, porém não podem ser a regra. O objetivo principal na formação de engenheiros é formar pessoas capazes de resolverem problemas específicos e bem determinados para o benefício da sociedade e levando em conta os recursos disponíveis. A pesquisa pura tem como objetivo alcançar o discernimento do comportamento da natureza, que pode ajudar a resolver problemas específicos, mas como resultado colateral, não como objetivo.

Nas avaliações de defesas de TCC em engenharia costumo efetuar algumas perguntas rotineiras. As respostas obtidas a algumas dessas perguntas são as seguintes:

Pergunta: Qual o objetivo principal do seu trabalho?

“... passar no TCC...”.

“... estudar o funcionamento do amplificador classe X...”.

“... estudar os métodos de compressão de voz...”.

“... aprender a usar o protocolo PROFIBUS...”.

Pergunta: Como ficou o seu cronograma executado em função do previsto?

“... não sei, não fiz cronograma...”.

“... não me lembro do cronograma velho porque não salvei...”.

“... ou eu fazia o trabalho ou fazia o cronograma!”.

“... não tive tempo no final...”.

Pergunta: Quem são os usuários do seu produto?

“... depende, qualquer um pode usar...”.

“... não sei, acho que qualquer um que precisar...”.

¹ Isto é importante para que esses professores não vivam no mundo das idéias. Um engenheiro que vive no mundo das idéias está mais para filósofo do que para engenheiro.



“... qualquer engenheiro pode usar se quiser...”

Pergunta: As metas propostas foram alcançadas?

“... depende, se passar hoje, sim!...”

“... umas que outras...”

“... a meta era que funcione! E agora está funcionando!...”

“... como assim metas?”

“... puxa!, é tanta coisa que vocês pedem!”

Pergunta: Quais são as soluções alternativas ao problema proposto?

“... que problema proposto?...”

“... não sei, peguei a primeira solução que achei legal...”

“... sei lá..., precisava disso também?...”

“... não tive tempo de pesquisar outras soluções...”

“... procurei, procurei e procurei e não achei nada na internet...”

“... procurei outras alternativas, porém só tinha site em inglês...”

Pergunta: Qual é a justificativa econômica do seu projeto? Quanto custa?

Há alternativas mais econômicas? Qual o tempo de *payback*?

“... não sei, fui fazendo e fui gastando...”

“... não guardei as notas fiscais...”

“... haaa... uns mil contos de rei! Caro pra caramba!”

“... não precisei calcular, tinha tudo mesmo...”

“... o que era *peibaque* mesmo?”

“... *fiz tudo com sucata*...”

Pergunta: Quais os principais problemas encontrados durante o seu trabalho?

“... faltou tempo...”

“... não sabia usar o microcontrolador...”

“... minha avó ficou doente...”

“... o principal problema foi no começo, quando nada funcionava...”

“... escrever... Não estava acostumado a escrever tanto...”

Pergunta: Como o seu produto afeta o meio ambiente?

“... não afeta, ele é muito pequeno...”

“... depois de usar é só jogar no lixo para não ficar poluindo por aí!”

“... reciclar, para quê. Melhor comprar um novo...”

“... as baterias são tóxicas, mas é só colocar num saquinho de “super” e jogar no lixo seco...”

Pergunta: Quais são as suas principais conclusões?

“... foi difícil pra caramba!”

“... o curso que fiz me serviu para alguma coisa...”



“... aprendi a programar o microcontrolador...”

“... concluí que devia ter começado o TCC há mais tempo...”

Pergunta: Em que grau os resultados do seu projeto podem ajudar à sociedade de forma direta ou indireta?

“... qual Sociedade?”

“... o que meu TCC tem a ver com a sociedade?”

“... a sociedade não paga o meu estudo! Não estudo na Federal!”

“... o meu TCC é em engenharia e não em ciências sociais...”

Pergunta: Quais os índices de qualidade definidos para o projeto? Como ficou a avaliação desses índices?

“... que índices?”

“... vocês são muito chatos mesmo...!”

“... no final ia fazer, mas não deu tempo...”

“... o serviço apertou muito na última hora...”

“... ninguém me disse nada sobre isso!”

“... o TCC tem índice. Levei uma noite inteira para fazer!”

“... a avaliação dos índices foi muito boa!... Quais índices?... Todos eles...”

Pergunta: Quanto tempo você dedicou a pensar no anteprojeto do seu TCC?

“... um dia (?)”

“... faço hoje a noite se for necessário...”

“... não deu tempo de fazer anteprojeto, fui direto para o projeto...”

“... poupei esse tempo para executar o projeto...”

“... levei mais de um dia...!”

“... fui pensando e fazendo ao mesmo tempo...”

“... era um ou outro; ou eu pensava ou eu fazia o trabalho...”

“... não tinha tempo para pensar, tinha que fazer!”

“... se fosse pensar muito, hoje não teria nada para apresentar!”

“... cinco anos (?)”

Essas bonitas pérolas (algumas até engraçadas) motivaram um conjunto de ações para tentar mudar a percepção que os acadêmicos têm da profissão (ou que não têm) e para tentar resolver a maior parte dos problemas que eles enfrentam na hora do TCC. O grande problema causador de tudo isso pode ser a falta de planejamento o que gera bastante ineficiência do processo.

O trabalho de conclusão em engenharia ele deve perpassar o lado acadêmico e englobar o profissional. Além do uso do método científico para a definição dos métodos, objetivos e metas da pesquisa, também está o lado profissional da definição de interessados pelo projeto, da justificativa econômica,



dos resultados propostos, dos índices de qualidade e da metodologia de gestão das atividades e recursos.

Embora possa existir no currículo uma disciplina de 4 créditos de Metodologia Científica, ela não trata do Método da Engenharia de forma prática, especificamente o Projeto de Engenharia, englobando as atividades que vão desde o anteprojeto até o projeto executivo, em paralelo com o Gerenciamento do Projeto. O grande problema da metodologia científica é que ela trabalha o “como fazer”, no entanto não o “fazer” e “controlar”; isto devido a que na maioria das vezes os professores dessas disciplinas têm formação em filosofia ficando tudo no campo das idéias, e na engenharia bem..., as coisas são bastante diferentes, do abstrato até o concreto.

O TCC pode (e deve) ser tratado como um Projeto de Engenharia com todas as suas fases: idéia, formulação do problema, objetivos, escopo (resultados e metas), análise de riscos, equipe de projeto, cronogramas, divisão das tarefas, programação dos recursos, definição das equipes de projeto, distribuição das responsabilidades, definição dos índices de qualidade, gerenciamento do projeto, análises de impacto ambiental e avaliação dos resultados.

Este livro apresenta as diretrizes para a elaboração da monografia do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia (TCC) como Projeto de Engenharia, com o objetivo de nortear os acadêmicos dos cursos de Engenharia na metodologia da concepção, execução e gerenciamento de projetos.

Pode se perceber pelo descrito anteriormente que o número de incógnitas é muito grande, porém a solução fica mais clara se olharmos para os objetivos do TCC e o perfil desejado para a formação de engenheiros.

As diretrizes² definidas pelo MEC definem a obrigatoriedade do TCC da seguinte forma:

§ 1º Deverão existir os trabalhos de síntese e integração dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso, sendo que, pelo menos, um deles deverá se constituir em atividade obrigatória como requisito para a graduação.

O perfil do engenheiro é definido no artigo 3º:

Art. 3º O Curso de Graduação em Engenharia tem como perfil do formando egresso/profissional, o engenheiro com formação generalista, humanista, crítica e reflexiva, capacitado a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a

² Resolução No. 11, de 11 de março de 2002 do Conselho Nacional de Educação.



sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade.

Os objetivos na formação dos engenheiros são descritos no artigo 4º:

Art. 4º A formação do engenheiro tem por objetivo dotar o profissional dos conhecimentos requeridos para o exercício das seguintes competências e habilidades gerais:

I - aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia;

II - projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados;

III - conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos;

IV - planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de engenharia;

V - identificar, formular e resolver problemas de engenharia;

VI (a) - desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas;

VI (b) - supervisionar a operação e a manutenção de sistemas;

VII - avaliar criticamente a operação e a manutenção de sistemas;

VIII - comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica;

IX - atuar em equipes multidisciplinares;

X - compreender e aplicar a ética e responsabilidade profissionais;

XI - avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental;

XII - avaliar a viabilidade econômica de projetos de engenharia;

XIII - assumir a postura de permanente busca de atualização profissional.

Os TCC na forma de trabalho acadêmico avaliam bastante bem os itens: I, II, III, VI(a) e VIII; entretanto omitem em maior ou menor grau os itens: IV, V, VI(b), VII, IX, XI e XII. Os itens X e XIII são mais difíceis de avaliar por meio de um trabalho.

A iniciativa da criação deste livro está baseada nesses artigos e nas omissões tradicionais observadas nos trabalhos acadêmicos nos cursos de engenharia.

Metodologia Proposta

Recomenda-se a concepção, execução e finalização do TCC no prazo (mínimo) de 1 ano. Para efeitos curriculares, sugere-se a criação de duas disciplinas: TCC I e TCC II. Recomenda-se que o estudante dedique pelo menos 16 horas semanais para as atividades de preparação do TCC em Engenharia.

A metodologia proposta para o TCC I é uma disciplina expositiva ou de estudo dirigido (de aproximadamente 30 horas) com os conteúdos deste livro. O



TCC I deve ir desde a fase de concepção até a fase de planejamento do projeto inclusive.

A disciplina seguinte recomendada é o TCC II (estudo dirigido) que engloba a fase executiva do projeto, a elaboração da monografia e a fase de fechamento do projeto.

Os documentos resultantes propostos para o TCC são: um documento do Projeto de Engenharia (trabalho profissional) e uma Monografia de TCC (trabalho acadêmico).

Organização do Livro

Este livro está organizado em quatro partes:

Parte I - Introdução ao Projeto de Engenharia: esta parte tem como objetivo dar uma visão geral do projeto de engenharia e sobre o projeto de produtos.

Parte II - A Comunicação na Engenharia: visa ressaltar a importância da comunicação na engenharia e fornece dicas importantes para se comunicar com eficiência.

Parte III - A Metodologia de Projeto: aqui começam as ações. É apresentada uma metodologia completa baseada nas recomendações do PMI³ para a gestão de projetos.

Parte IV - Normas e Recomendações para a Elaboração da Monografia: fornece uma descrição das normas da ABNT para a elaboração da monografia final do TCC e apresenta dicas de elaboração usando o Microsoft Word®.

Nos anexos são fornecidos todos os modelos de documento necessários para a elaboração final dos trabalhos.

³ PMI: Project Management Institute.



Sumário

| | |
|---|------------|
| PARTE I | 14 |
| INTRODUÇÃO AO PROJETO DE ENGENHARIA | 14 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 1.1. As Atividades Fundamentais dos Engenheiros | 15 |
| 1.2. Engenheiros na Pesquisa | 16 |
| 1.3. Engenheiros no Desenvolvimento ou na Concepção | 18 |
| 1.4. Engenheiros nos Projetos..... | 20 |
| 1.5. Engenheiros na Produção | 22 |
| 1.6. Engenheiros na Construção e na Instalação | 23 |
| 1.7. Engenheiros na Operação | 24 |
| 1.8. Engenheiro nas Vendas | 26 |
| 1.9. Engenheiros na Gestão..... | 27 |
| 1.10. Engenheiros na Consultoria..... | 29 |
| 1.11. Engenheiros na Academia..... | 30 |
| 2. COMO COMEÇAR O TCC EM ENGENHARIA | 33 |
| 2.1. Introdução aos Problemas de Engenharia..... | 35 |
| 2.2. Os Critérios Contraditórios na Solução dos Problemas de Engenharia 38 | |
| 2.3. A Abrangência dos Problemas da Engenharia | 43 |
| 2.4. Conclusões sobre os Problemas de Engenharia..... | 45 |
| 3. O MÉTODO DA ENGENHARIA PARA A SOLUÇÃO DE PROBLEMAS | 47 |
| 3.1. A Generalização dos Problemas de Engenharia | 47 |
| 3.2. O Processo da Solução..... | 48 |
| 3.3. A Fase da Formulação do Problema..... | 49 |
| 3.4. A Fase da Análise do Problema..... | 67 |
| 3.5. A Fase da Pesquisa por Soluções..... | 74 |
| 3.6. A Fase da Decisão | 83 |
| 3.7. A Especificação da Solução Final | 91 |
| 3.8. E depois da Especificação? Do Abstrato ao Concreto..... | 94 |
| 3.9. Conclusões do Método de Engenharia | 97 |
| 4. O PROJETO - A ESSÊNCIA DA ENGENHARIA..... | 100 |
| 4.1. O Projeto de Engenharia | 101 |
| 4.2. As Etapas de um Projeto de Engenharia | 102 |
| 4.3. As Formas de Execução dos Projetos de Engenharia | 109 |
| 4.4. A Contratação dos Projetos | 111 |
| 4.5. Prêmios e Penalidades | 113 |
| 4.6. A Classificação dos Projetos | 115 |
| 5. A ENGENHARIA DE PRODUTO..... | 118 |
| 5.1. A Solução do Problema | 120 |
| 5.2. O Projeto de Produto..... | 123 |



| | | |
|--|--|------------|
| 5.3. | A Gestão das Atividades do Projeto de Produto..... | 126 |
| 5.4. | Da Descrição Funcional para a Transformação Física | 127 |
| 5.5. | O Processo do Projeto de Produto | 129 |
| 5.6. | O Esclarecimento das Tarefas | 130 |
| 5.7. | Projeto Conceptual | 134 |
| 5.8. | A Especificação do Projeto de Produto | 140 |
| 6. | OS MODELOS E A MODELAGEM NA ENGENHARIA | 157 |
| 6.1. | As Representações dos Sistemas Físicos..... | 157 |
| 6.2. | Os Modelos | 158 |
| 6.3. | A Modelagem na Solução de Problemas de Engenharia | 160 |
| 6.4. | A Classificação dos Modelos..... | 161 |
| 6.5. | O Uso dos Modelos | 175 |
| 6.6. | A Simulação dos Sistemas Reais de Engenharia | 188 |
| PARTE II..... | 203 | |
| A IMPORTÂNCIA DA COMUNICAÇÃO NA ENGENHARIA..... | 203 | |
| 7. A COMUNICAÇÃO NA ENGENHARIA | 204 | |
| 7.2. | O Engenheiro e a Comunicação Escrita..... | 208 |
| 7.3. | O Engenheiro e a Comunicação Gráfica..... | 216 |
| 7.4. | O Engenheiro e a Comunicação Oral | 241 |
| 7.5. | Metodologia de Escrita e Apresentações..... | 247 |
| PARTE III..... | 274 | |
| A METODOLOGIA DE PROJETO | 274 | |
| 8. METODOLOGIA PARA A ELABORAÇÃO DO PROJETO DE TCC..... | 275 | |
| 8.1. | As Fases do Projeto..... | 276 |
| 8.2. | Passo 1: Descrição Geral da Idéia..... | 278 |
| 8.3. | Passo 2: A Formulação do Problema | 279 |
| 8.4. | Passo 3: A Justificativa da Busca de Solução para o Problema | 280 |
| 8.5. | Passo 4: A Definição dos Objetivos | 280 |
| 8.6. | Passo 5: Os Fatores Condicionantes | 280 |
| 8.7. | Passo 6: Os Benefícios esperados se o Problema for Resolvido | 281 |
| 9. A FASE DE INICIAÇÃO DO PROJETO..... | 283 | |
| 9.1. | Atividades e Documentos da Fase de Iniciação..... | 284 |
| 9.2. | Passo 7: Definir – DEFINIÇÃO DA IDÉIA DO PROJETO..... | 284 |
| 9.3. | Passo 8: Analisar - ANÁLISE DO PROJETO | 285 |
| 9.4. | Passo 9: Recomendar – PROPOSTA DO PROJETO..... | 291 |
| 9.5. | Passo 10: Decidir – A CARTA DE PROJETO | 293 |
| 9.6. | Problemas Comuns na Fase de Iniciação do Projeto | 295 |
| 9.7. | Passo 11: A Transição – CHECKLIST DE TRANSIÇÃO | 296 |
| 10. A FASE DE PLANEJAMENTO DO PROJETO | 298 | |
| 10.1. | Passo 11: Planejar - Documentos e Atividades da Fase de Planejamento | 299 |



| | | |
|--|--|------------|
| 10.2. | O PLANO DO PROJETO | 300 |
| 10.3. | Processos Essenciais: Análise do Escopo e dos Objetivos do Projeto | 301 |
| 10.4. | Estrutura Detalhada das Tarefas | 303 |
| 10.5. | Estrutura Organizacional das Tarefas | 308 |
| 10.6. | Definição e Sequenciamento das Atividades | 309 |
| 10.7. | Planejamento dos Recursos..... | 311 |
| 10.8. | Desenvolvimento do Cronograma | 313 |
| 10.9. | Planejamento do Orçamento | 321 |
| 10.10. | Planejamento de Desempenho..... | 323 |
| 10.11. | Processos de Facilitação..... | 324 |
| 10.12. | Planejamento do Gerenciamento de Riscos | 324 |
| 10.13. | Planejamento das Compras | 327 |
| 10.14. | Planejamento das Comunicações..... | 329 |
| 10.15. | Gerenciamento das Alterações e Funcionalidades | 330 |
| 10.16. | Planejamento do Gerenciamento da Qualidade | 332 |
| 10.17. | Checklist de Transição do Planejamento | 333 |
| 11. | A FASE DE EXECUÇÃO DO PROJETO..... | 335 |
| 11.1. | Atividades e Documentos na Fase de Execução e Controle | 335 |
| 11.2. | Passo 12: Executar - Executando o Projeto | 336 |
| 11.3. | Passo 13: Controlar - O Controle do Projeto..... | 341 |
| 11.4. | Checklist de Transição da Execução..... | 346 |
| 12. | A FASE DO FECHAMENTO DO PROJETO..... | 347 |
| 12.1. | Passo 14: Finalizar - Tarefas de Fechamento do Projeto..... | 348 |
| 12.2. | Lições Aprendidas | 351 |
| 12.3. | Checklist de Transição do Fechamento do Projeto..... | 352 |
| 12.4. | Relatório de Fechamento do Projeto..... | 352 |
| 12.5. | Passo 15: Avaliar - Relatório da Revisão Pós-Implementação | 353 |
| PARTE IV | | 355 |
| NORMAS E RECOMENDAÇÕES PARA A ELABORAÇÃO DA MONOGRAFIA | | 355 |
| 13. INTRODUÇÃO ÀS NORMAS PARA A ELABORAÇÃO DA MONOGRAFIA DO TCC | | 356 |
| 13.1. | Referências Normativas | 356 |
| 13.2. | Estrutura do TCC..... | 356 |
| 14. ELEMENTOS PRÉ-TEXTUAIS..... | | 358 |
| 14.1. | Capa..... | 358 |
| 14.2. | Folha de Rosto | 360 |
| 14.3. | Folha de Aprovação | 361 |
| 14.4. | Dedicatória | 362 |
| 14.5. | Agradecimentos..... | 363 |
| 14.6. | Epigrafe | 363 |
| 14.7. | Resumo em Língua Vernácula..... | 364 |
| 14.8. | Resumo em Língua Estrangeira..... | 365 |



| | | |
|------------|--|------------|
| 14.9. | Lista de Ilustrações | 366 |
| 14.10. | Lista de Tabelas..... | 366 |
| 14.11. | Lista de Abreviaturas e Siglas | 367 |
| 14.12. | Lista de Símbolos | 368 |
| 14.13. | Sumário | 369 |
| 15. | ELEMENTOS TEXTUAIS | 370 |
| 15.1. | Introdução | 370 |
| 15.2. | Desenvolvimento | 372 |
| 15.3. | Referencial Teórico | 372 |
| 15.4. | Materiais e Métodos..... | 373 |
| 15.5. | Apresentação e Discussão dos Resultados | 375 |
| 15.6. | Considerações Finais..... | 375 |
| 16. | ELEMENTOS PÓS-TEXTUAIS..... | 377 |
| 16.1. | Referências | 377 |
| 16.2. | Obras Consultadas..... | 378 |
| 16.3. | Glossário..... | 378 |
| 16.4. | Apêndices | 379 |
| 16.5. | Índice..... | 381 |
| 17. | REGRAS GERAIS DE APRESENTAÇÃO DOS ORIGINAIS | 382 |
| 17.1. | Sobre o Formato | 382 |
| 17.2. | Sobre o Tipo de Fonte | 382 |
| 17.3. | Sobre as Margens | 382 |
| 17.4. | Sobre os Espacejamentos..... | 382 |
| 17.5. | Sobre as Notas de rodapé..... | 383 |
| 17.6. | Sobre a Paginação | 383 |
| 17.7. | Sobre a Impressão..... | 383 |
| 17.8. | Sobre a Encadernação | 384 |
| 17.9. | Sobre o Número de Exemplares..... | 384 |
| 17.10. | Sobre a Numeração progressiva | 384 |
| 17.11. | Sobre o Uso de Maiúsculas | 385 |
| 17.12. | Sobre o Uso de Numerais | 385 |
| 17.13. | Sobre as Citações das Fontes | 385 |
| 17.14. | Sobre as Notas Explicativas | 394 |
| 17.15. | Sobre as Siglas | 394 |
| 17.16. | Sobre as Equações e fórmulas..... | 395 |
| 17.17. | Sobre as Ilustrações | 395 |
| 17.18. | Sobre as Tabelas | 396 |
| 17.19. | Sobre as Referências..... | 401 |
| 18. | COMO FAZER NO MICROSOFT® WORD | 413 |
| 18.1. | Criação o Documento e Definição do Padrão de Folha | 414 |
| 18.2. | Definição dos Estilos para o Documento..... | 417 |
| 18.3. | Criação da Capa do TCC..... | 420 |



| | | |
|------------|--|------------|
| 18.4. | Criando a Seção do Pré-Texto..... | 424 |
| 18.5. | Criando a Seção de Texto e Pós-Texto..... | 431 |
| 18.6. | Fazendo referências às ilustrações, tabelas e equações | 443 |
| 18.7. | Criando o Sumário | 444 |
| 18.8. | Criando a Lista de Ilustrações | 445 |
| 18.9. | Criando a Lista de Tabelas..... | 446 |
| 18.10. | Criando a Lista de Equações | 446 |
| 18.11. | Criando itens numerados ou com marcadores | 446 |
| 18.12. | Criando a lista de Referências (Bibliográfica)..... | 447 |
| 18.13. | Apêndices e Anexos | 448 |
| 18.14. | Inserindo Notas Explicativas | 450 |
| 18.15. | Inserindo um Índice Remissivo..... | 451 |
| 19. | REFERÊNCIAS | 454 |



PARTE I

INTRODUÇÃO AO PROJETO DE ENGENHARIA



1. INTRODUÇÃO

O trabalho de conclusão de curso é o último requisito a ser cumprido pelo futuro profissional e a sua construção e execução deve estar alinhado com os objetivos da engenharia.

Provavelmente você foi atraído pelo estudo da engenharia sem ter conhecimento do que ela realmente é. Existem **cinco elementos essenciais** na definição da engenharia:

- A engenharia como profissão;
- Arte e ciência;
- Uso da ciência aplicada;
- Utilização dos recursos naturais;
- Benefício à humanidade como propósito.

Incorporando estes cinco elementos em uma única frase, pode resultar na seguinte definição da Engenharia:

“A engenharia é a arte profissional da aplicação da ciência, da experiência, do julgamento e do senso comum para a conversão dos recursos naturais em benefício da humanidade”.

O TCC faz parte da formação do futuro engenheiro e serve como parte da sua preparação profissional. Todas as atividades do engenheiro devem estar fundamentadas na própria definição da profissão e por isso todas as suas ações devem ser referenciadas pelo que a sociedade espera destes profissionais. O TCC em Engenharia deve ser considerado como uma das primeiras tarefas do engenheiro aprendiz. O TCC junto ao Estágio Supervisionado em Engenharia deve fornecer subsídios ao futuro engenheiro para poder se desenvolver na execução das atividades fundamentais dos engenheiros que serão tratadas no próximo tópico.

1.1. As Atividades Fundamentais dos Engenheiros

Os engenheiros assumem uma grande variedade de responsabilidades funcionais, incluindo pesquisa, desenvolvimento, projeto, produção, construção, operação, vendas e gerenciamento. Em geral, as atividades fundamentais mais aptas para os engenheiros recém-formados são: a pesquisa, o desenvolvimento e o projeto; também relacionadas aos engenheiros mestres e doutores. As funções



gerenciais são mais aptas, como principal responsabilidade e atividade de trabalho, aos engenheiros mais experientes.

As atividades dos engenheiros são muito variadas, e de acordo com o tipo de trabalho podemos classificá-los em:

- Engenheiros na Pesquisa;
- Engenheiros no Desenvolvimento;
- Engenheiros nos Projetos;
- Engenheiros na Produção;
- Engenheiros na Construção e Instalação
- Engenheiros na Operação;
- Engenheiros nas Vendas;
- Engenheiros na Gestão;
- Engenheiros na Consultoria;
- Engenheiros na Academia.

1.2. Engenheiros na Pesquisa

A pesquisa é hoje em dia um grande negócio, trabalhando com orçamentos de aproximadamente US\$ 40 bilhões por ano no mundo todo. A pesquisa é efetuada em basicamente quatro tipos de instituições, nos colégios e universidades, nos laboratórios industriais, nas organizações patrocinadas pelos governos e nos institutos de pesquisa.

Ultimamente muitos governos expandiram rapidamente as suas políticas no desenvolvimento da pesquisa e desenvolvimento, apoiando com recursos públicos. De qualquer forma, a indústria tem aumentado os seus investimentos na pesquisa, convertendo-se em mais um parceiro no apoio à pesquisa. No passado, o maior apoio econômico proveniente de fundos públicos estava concentrado em pesquisa básica e aplicada relacionada com as ciências naturais, comunicações, defesa, materiais e informação. Nos últimos anos tem aumentado a ênfase na saúde pública, na produtividade industrial, solução de problemas energéticos, impacto ambiental, controle da produção e transporte.

1.2.1. Características da Pesquisa

Os engenheiros de pesquisa procuram novos conhecimentos ou um melhor entendimento dos fatos já conhecidos. Eles procuram novos princípios, novos métodos, novos processos e novas verdades. Eles trabalham na fronteira do conhecimento científico, e o seu treinamento deve fornecer um profundo



entendimento de conceitos avançados em matemática e nas ciências. Estes engenheiros devem ser hábeis no raciocínio abstrato e indutivo, e ainda saber expressar-se de forma matemática. Devem ser hábeis na análise de experimentos.

A pesquisa tem sido definida como:

“... o homem cego numa sala escura, procurando por um gato preto e silencioso que provavelmente não está lá...”.

Anônimo

Esse ditado mostra dois aspectos importantes do trabalho de pesquisa. Primeiro, já que o engenheiro de pesquisa, ou cientista, trabalha na fronteira do conhecimento, se sentirão trabalhando sempre num caminho desconhecido, usualmente utilizando técnicas e ferramentas inadequadas. Segundo: na sua busca, eles esperam encontrar várias falhas, fracassos e perdas antes de obter o sucesso. Em alguns casos o sucesso pode vir do avesso, i.e., muitos meses de trabalho podem ser requeridos para provar que certa teoria não é exata ou verdadeira, ou que um determinado método não funcionará.

1.2.2. Qualificações para a Pesquisa

O sucesso na pesquisa geralmente requer um conjunto particular de aptidões desenvolvidas através do treinamento. Quais são as qualificações pessoais requeridas para ter sucesso na pesquisa? Uma vez que a pesquisa requer fazer o que ninguém tem feito, é necessária uma grande habilidade intelectual. A pesquisa envolve o trabalho em campos desconhecidos e, portanto, são requeridas as características de imaginação e aceitação da incerteza.

Pessoas com a mente aberta e honestidade intelectual são características importantes em qualquer trabalho científico, devido a que sem estas, o pesquisador pode aceitar uma idéia preconcebida ou pessoal, o que pode escurecer a verdade. É de extrema importância a habilidade de cooperação com os outros formando uma equipe, assim como a habilidade de poder expressar-se com os colegas, assistentes e superiores.

Que tipo de educação é desejável? O engenheiro pesquisador deverá ter um amplo treinamento nas ciências fundamentais da engenharia, junto com um avançado treinamento especializado, o que o tornará um profissional de inestimável valor. Em geral, esta combinação é fornecida por um programa de



engenharia básico de quatro a cinco anos, seguido de um treinamento mais especializado durante um a três anos. O curso básico deverá incluir uma forte preparação em matemática enfatizando preferencialmente nos princípios da engenharia do que na teoria pura. O treinamento especializado deverá incluir estudos avançados nos conceitos científicos e uma introdução ao trabalho de pesquisa. O número de engenheiros que completam o mestrado (2 anos) e doutorado (3 anos) aumenta cada ano. Todos estes anos de estudo intensivos culminam numa contribuição original e no diploma de doutor, que é particularmente valioso na área da pesquisa.

1.3. Engenheiros no Desenvolvimento ou na Concepção

A tarefa do engenheiro de desenvolvimento é a de aplicar as descobertas e resultados da pesquisa para uma finalidade útil. Os engenheiros de desenvolvimento utilizam os princípios, as ferramentas e as técnicas, disponibilizadas através da pesquisa. Os seus esforços resultam em modelos funcionais de um circuito, processo ou máquina, que possui as características desejadas.

O engenheiro de desenvolvimento deve ser engenhoso, criativo e hábil na experimentação, e ainda possuir grande iniciativa e perseverança. Existe um fluxo contínuo de novos conhecimentos provenientes dos laboratórios de pesquisa distribuídos ao longo do mundo. Estes novos princípios, processos e produtos constituem a matéria-prima para os engenheiros de desenvolvimento.

A síntese do conhecimento disponível desenvolve um papel preponderante no desenvolvimento da nossa civilização. Quando os engenheiros de desenvolvimento recebem como tarefa o desenvolvimento de um dispositivo ou processo, que seja novo, melhor ou mais barato, eles primeiro se debruçam nos livros e publicações para ver o que já tem sido descoberto pelos pesquisadores no campo em questão. O engenheiro de desenvolvimento poderá prosseguir comunicando-se diretamente com os pesquisadores, outros engenheiros de desenvolvimento, e com projetistas, através de reuniões ou visitas técnicas.

1.3.1. Características do Desenvolvimento

O engenheiro de desenvolvimento ocupa uma posição estratégica entre a pesquisa e o projeto. Dentre as suas principais realizações está a resolução de



um problema que na forma de um modelo funcional que posteriormente será projetado para uma produção econômica.

Ainda que um determinado engenheiro possa efetuar pesquisa, continuar no desenvolvimento e participar do projeto⁴, as três funções são muito diferentes. Existem diferenças significativas entre o trabalho dos engenheiros de pesquisa e os de desenvolvimento, e estas diferenças se refletem nas qualificações desejadas para cada um deles. Parece ser óbvio que um engenheiro de desenvolvimento bem sucedido deve ser engenhoso e imaginativo. A sua tarefa é a de criar, e a criatividade é uma característica altamente rentável. O engenheiro de desenvolvimento deve ser hábil na experimentação, especialista em fazer observações precisas, e rápido em chegar às conclusões corretas. Na maioria, o setor de desenvolvimento é composto de um conjunto de pessoas, e o engenheiro deverá ser capaz de cooperar com os outros componentes com muita vontade de dar a sua contribuição, sem ficar preocupado com o crédito a receber.

A habilidade de poder expressar-se é muito importante em todas as funções da engenharia. A habilidade de vender as próprias idéias é particularmente importante no desenvolvimento. O custo de conduzir um programa de desenvolvimento pode chegar a muitos de milhares de dólares, e envolve o departamento de compras e pessoal adicional, além dos engenheiros. A diretoria deve ser convencida no que se refere ao valor da idéia e da habilidade do engenheiro que propõe desenvolvê-la. Por outro lado, um bom engenheiro de desenvolvimento deverá ter força de vontade de deixar o seu “filho” e o seu entusiasmo em troca de outra idéia que pareça ser mais promissora.

1.3.2. Qualificações para Desenvolvimento

A educação técnica requerida para os engenheiros de desenvolvimento varia dependendo do campo de atuação. No caso das áreas científicas, tais como Astronáutica, eletrônica e termodinâmica, deverá ser recebido um amplo treinamento nas ciências da engenharia no nível de graduação, adicionando treinamento especializado nos níveis de mestrado e doutorado. Os padrões reconhecem o valor do trabalho avançado do desenvolvimento, pagando altos salários para os engenheiros mestres e doutores.

⁴ Fato comum, especialmente nas pequenas empresas.



No campo da inventiva, a criatividade e a experiência prática podem ser mais importante que o treinamento acadêmico. Em qualquer tipo de evento, os engenheiros de desenvolvimento estão sempre trabalhando em áreas novas, precisando sempre ter à sua disposição as ferramentas, as técnicas e o conhecimento.

1.4. Engenheiros nos Projetos

Os engenheiros projetistas fazem uso dos resultados obtidos pelos engenheiros de desenvolvimento e os continuam até o ponto onde eles se tornam economicamente úteis. No projeto de produtos a serem manufaturados e vendidos para obter riqueza, os engenheiros de projeto selecionam os métodos de execução que os levem aos resultados desejados, especificam materiais e determinam as formas para satisfazer os requerimentos físicos, químicos, térmicos e elétricos.

Os engenheiros de projetos devem possuir treinamento avançado nas propriedades e comportamento dos materiais e processos, e ainda possuir habilidade na adaptação dos avanços recentes para a prática corrente. Eles devem ser hábeis na síntese, proficientes em expressão gráfica, e possuir uma base forte em economia.

1.4.1. Características do Projeto⁵

No trabalho da engenharia, a palavra “projeto” é utilizada de duas formas diferentes. Em geral, projeto significa “criar na mente”, começando com um propósito bem definido, são imaginados vários elementos sendo combinados de forma que o propósito possa ser alcançado. Em seguida, é elaborado um relatório para induzir certo tipo de profissional para uma ação desejada. Uma empresa de manufatura é projetada para fabricar um produto para um determinado mercado, por exemplo. Mais especificamente, o projeto como função da engenharia, é uma função intermediária entre o desenvolvimento e a produção ou construção. É responsabilidade do engenheiro de projeto obter o conceito no papel, ou o modelo funcional elaborado pelo engenheiro de

⁵ Projeto: [do latim “projectu”, “lançado para diante”] Idéia que se forma de executar ou realizar algo, no futuro; plano, intento, designio. Empreendimento a ser realizado dentro de determinado esquema.^[13]



desenvolvimento, e prepará-lo para a sua produção econômica numa fábrica se fosse numeroso, ou na construção do objetivo do projeto, se for único.

A partir desta descrição das tarefas a serem executadas pelo engenheiro de projeto, podemos chegar a algumas conclusões a respeito das qualificações pessoais, o treinamento e a experiência requerida. Os engenheiros de projeto devem ser criativos porque serão chamados para imaginar mecanismos e estruturas que ainda não existem. Estes devem ser hábeis em colocar os pensamentos no papel. As suas idéias pelas quais são pagos somente se tornam úteis, quando estão expressas em desenho e especificações. Os engenheiros de projeto devem ser hábeis para decidir qual das soluções alternativas é a preferida, e a proceder baseados nesses fundamentos. Devem ser cooperativos, já que os projetos mais importantes resultam da soma dos esforços de um grupo. Devem ter sempre a mente aberta e evitar ficar com uma única idéia fixa, somente por ser a sua própria.

1.4.2. Qualificações para o Projeto

Ainda que a engenharia de projeto não é uma profissão exclusiva, é desejável que o profissional tenha tido estudos de pelo menos quatro anos na graduação e pelo menos um ano na pós-graduação. Os estudos devem ser amplos devido a que os principais projetos de engenharia envolvem muitas matérias, incluindo fatores econômicos, políticos e sociais, além dos aspectos puramente técnicos.

Um bom projeto deve ser econômico, em termos de materiais, fabricação, instalação, operação e manutenção. O projetista precisa manter a mente flexível, o que é conseguido pela familiaridade com as técnicas de análise utilizadas em outros campos do conhecimento.

Uma vez que o projeto é um processo interativo de síntese e análise, o computador é uma ferramenta valiosa. Os projetistas devem ser hábeis em tomar vantagem do computador, possibilitando o aumento da sua própria habilidade analítica e reduzindo em muito o trabalho da redução do problema e na representação gráfica.

Somado a isso, o engenheiro de projeto deve ser capaz de tratar com considerações estéticas, e freqüentemente, ele deverá ser orientado pelas



limitações psicológicas do usuário. O conhecimento das leis facilita o entendimento dos contratos e a verificação das patentes.

1.5. Engenheiros na Produção

Os engenheiros de produção se encarregam do layout das fábricas e da seleção de equipamentos, enquanto mantêm particular atenção aos fatores humanos e econômicos. Estes escolhem o processo de manufatura, as seqüências, as ferramentas e os métodos de fabricação. Os engenheiros de produção integram o fluxo de materiais e componentes com os processos; desenvolvem estações de trabalho que facilitam os esforços humanos e automáticos para aumentar a produção. Estes implementam os meios e métodos para a inspeção e teste. Eliminam os funis de produção e corrigem as falhas nos procedimentos de manufatura. Trabalham lado a lado com os projetistas desde os primeiros estágios da produção e participam no re-projeto.

1.5.1. Características da Produção

O preço no qual uma mercadoria pode ser vendida é fixado pela competição no mercado aberto. Por outro lado, o custo das matérias-primas e do trabalho é fixo. Uma empresa poderá operar com lucros, ou prejuízos, dependendo da sua habilidade de executar a conversão da matéria prima num produto acabado, de forma mais eficiente que os seus competidores. Esta conversão é de responsabilidade do engenheiro de produção.

O trabalho do engenheiro de produção é muito similar ao do engenheiro de construção. Na organização tradicional das empresas, o departamento de produção está supervisionado diretamente pelos departamentos administrativo e gerencial, no lugar do departamento de engenharia. A ênfase do seu trabalho está em como executar o que o engenheiro de projeto especificou a ser executado.

O engenheiro de produção aconselha os engenheiros de projeto no planejamento para posterior produção, selecionando as ferramentas, os processos, e a programação da produção. Uma vez que as funções de produção e construção são muito parecidas, as qualificações necessárias são muito similares.

O engenheiro de produção trabalha sob constante pressão e se defronta com máquinas e sistemas que estão sendo utilizados no limite. É importante que



tenham o sentimento do que as máquinas e as pessoas podem e devem fazer, ou não. Este é um bom trabalho para um planejador, mas não é um bom emprego para alguém que se preocupe muito. O perambular pela planta envolve mais atividade física do que de projeto. A capacidade de colaboração com os seus subordinados e representantes de outros departamentos da empresa, é essencial. A capacidade de vender uma idéia para a alta administração é extremamente importante, especialmente, quando esta idéia envolve o investimento de milhões de dólares.

1.5.2. Qualificações para a Produção

Os problemas técnicos que enfrentam os engenheiros de produção cobrem praticamente todas as fases da engenharia, de forma que é necessário ter um forte treinamento nas ciências básicas das engenharias. Acrescentando a isto, é necessário um especial treinamento nos processos de produção, em metalurgia e termodinâmica, engenharia econômica e controle de qualidade. O treinamento prático poderá ser obtido nos laboratórios das universidades, em visita às fábricas ou nos estágios.

1.6. Engenheiros na Construção e na Instalação

Os engenheiros de construção e instalação são responsáveis na supervisão e preparação dos lugares a serem ocupados por estruturas ou instalações. Estes determinam os procedimentos a serem seguidos em base a economia e a qualidade desejada como resultado. Dirigem a montagem, colocação e combinação dos materiais. Organizam o pessoal que executará as operações.

Os engenheiros de construção e instalação devem ser hábeis na arte da sua profissão. Eles devem ser capazes de dirigir pessoas de forma efetiva e ter uma firme noção dos custos envolvidos.

1.6.1. Características da Construção e Instalação

A indústria da construção e instalação constitui um dos grandes segmentos da economia, e é responsável por uma grande parte do PIB⁶. Dentro desta indústria são encontrados engenheiros que executam todo tipo de funções. Nesta discussão, de qualquer forma, o termo engenheiro de construção e

⁶ PIB: Produto Interno Bruto



instalação será utilizado para identificar o trabalho do construtor de estruturas de edifícios, o instalador das utilidades elétricas, sanitárias e de outras relacionadas, que tenham sido previamente projetados e que serão implementados posteriormente. Estes engenheiros de construção e instalação recebem dos engenheiros de projeto, um conjunto de planos e especificações. Estes variam na sua complexidade, desde uma única folha com anotações e notas, até um conjunto de centenas de desenhos e milhares de páginas de especificações. É tarefa dos engenheiros de construção e instalação, converterem a visão do projetista em realidade, pela tradução dos rabiscos em aço, plástico e metal.

1.6.2. Qualificações para a Construção e Instalação

Um curso básico de engenharia fornecerá o conhecimento necessário dos materiais, forças, estruturas e equipamentos mecânicos e elétricos. É importante e necessária a habilidade na elaboração e escrita de relatórios. É desejável o conhecimento das leis comerciais, econômicas, psicológicas e do trabalho. O treinamento em métodos de construção e instalação é disponibilizado nas universidades, e pode ser complementado no próprio trabalho. Em todo caso, o engenheiro de construção e instalação deve ter experiência e senso comum, o que pode ser obtido somente pela prática. Os estágios em supervisão, inspeção ou controlador podem ajudar os jovens engenheiros a obter o treinamento básico necessário para a profissão.

1.7. Engenheiros na Operação

Os engenheiros de operação controlam máquinas, fábricas ou organizações que fornecem serviços, tais como energia, transporte, comunicação, processamento de dados ou armazenamento de dados. Eles são responsáveis pela seleção, instalação e manutenção de equipamentos. Os supervisores das operações de manufatura são freqüentemente chamados de engenheiros de fábrica. Estes são responsáveis pelos programas de manutenção preventiva e pela operação de equipamentos complexos, de forma a operar com a máxima economia.

Depois que uma parte de um equipamento tenha sido desenvolvida, projetada e produzida, ainda deverá ser operada. Qualquer criança de 4 anos de idade pode operar um aparelho sofisticado de televisão, e a maioria dos



adolescentes com 18 anos de idade, podem operar um automóvel com 200 HP de potência; mas a operação de um centro de computação, uma instalação de lançamento de foguetes ou uma planta de energia nuclear, requer o treinamento em engenharia.

1.7.1. Características da Operação

A atividade de supervisão da fabricação de equipamentos e máquinas nas operações de manufatura é chamada engenharia de planta⁷. A atividade de controle dos serviços de utilidade pública ou das plantas processadoras, com o objetivo de obter a máxima confiabilidade e economia, é denominada de engenharia de operação. Em ambas as atividades, a manutenção das plantas e equipamentos, é de importância suficiente para justificar discussões específicas.

O engenheiro de operação está mais preocupado com o desempenho atual das máquinas e sistemas que os engenheiros engajados em outras funções. Esta ênfase se reflete nas características do engenheiro de sucesso nesta atividade. Esta função é apropriada para homens e mulheres que gostem das máquinas e que se sintam desafiados a tirar o maior proveito delas. Eles devem ser hábeis na identificação e rastreamento dos problemas difíceis e devem saber suportar o trabalho sob pressão. Devem ser capazes de tratar com muitos tipos de pessoas, assim como máquinas. Deverão constituir a liderança e o cérebro do grupo de obreiros e técnicos, que possuem a experiência e as habilidades manuais. Devem ser metódicos, hábeis na planificação, assim como especialistas na coleta e na análise de dados operacionais, e ainda ser capazes de interpretar situações técnicas em termos de economia.

Uma vez que os engenheiros operacionais executam serviços, estes devem ser capazes de cooperar com outros departamentos da empresa. A habilidade de trabalhar com conceitos científicos abstratos ou matemáticos não é da maior importância.

1.7.2. Qualificações para Operações

Como na maioria das funções, o trabalho nas operações e na manutenção cobre todos os campos básicos da engenharia civil, elétrica, mecânica, química e metalúrgica. A experiência, com novas máquinas, processos e controles pode ser

⁷ Às vezes o profissional é denominado Engenheiro Industrial.



obtida nos laboratórios das universidades, e complementada pelos estágios. O treinamento na universidade deverá incluir uma base em economia e estatística.

1.8. Engenheiro nas Vendas

Os engenheiros de vendas⁸ analisam as necessidades dos clientes e selecionam e recomendam bens, equipamentos ou serviços que satisfaçam as suas especificações da forma mais econômica. Eles combinam a capacidade de convencer com a educação e treinamento técnico em aplicações. Eles analisam as reclamações dos clientes e treinam os seus empregados. Devem ser hábeis no tratamento com pessoas de todos os níveis técnicos, desde os supervisores de manutenção, até os cientistas pesquisadores.

Os engenheiros de aplicação devem ser capazes de se expressar oralmente e devem possuir um forte treinamento em negócios. Os problemas dos engenheiros de vendas surgem como resultado das necessidades dos clientes. Por exemplo, o representante de uma empresa de equipamentos elétricos pode receber o seguinte pedido: "...temos colocado uma outra linha de processo em operação, e nossos transformadores principais começaram a superaquecer. Que podemos fazer a respeito...?".

1.8.1. Características das Vendas

Enquanto que as funções de vendas, aplicação e serviço possuem características diferentes e geram responsabilidades diferentes em uma grande companhia, as qualificações e treinamento necessários para as três funções são muito parecidos e em muitos casos executados pela mesma pessoa.

A principal característica que diferencia a também denominada "personalidade de vendedor", é a habilidade do profissional de se comunicar com estranhos de forma rápida e eficiente. Os engenheiros de vendas devem ser amigáveis, fáceis de conhecê-los e bons ouvintes. Eles devem inspirar confiança em relação ao seu conhecimento do produto, assim como na sua integridade comercial. Eles devem ser corteses e educados, assim como impávidos ante a indiferença, resistência ou insolência.

Uma vez que eles representam as suas empresas, a aparência é muito importante. Eles devem ser capazes de interpretar as necessidades dos clientes e

⁸ Às vezes são também denominados como Engenheiros de Aplicação.



de expressar as suas próprias idéias de forma efetiva. Devem possuir um bom senso comum. Não se devem importar com as constantes viagens.

Os engenheiros de vendas possuem este tipo de personalidade, e somadas a isto, possuem a habilidade técnica para resolver uma ampla faixa de problemas de engenharia, incluindo o projeto, a operação e a manutenção. Devem ser engenhosos porque serão chamados a participar de novas situações. Eles devem tomar decisões a respeito de assuntos importantes e afrontar o risco de cometer erros. Também devem ser capazes de tratar com pessoas de todos os níveis técnicos.

1.8.2. Qualificação para Vendas

Os engenheiros de vendas podem esperar trabalhar em problemas de todos os campos da engenharia, e por isso precisam de um amplo treinamento. Uma vez que a grande parte do seu trabalho é no nível altamente técnico, é necessário ter finalizado o curso de graduação em engenharia. O seu treinamento deve incluir os fundamentos de equipamentos, processos e controles. Também é útil o treinamento nas leis comerciais, contabilidade e economia. O treinamento nas universidades normalmente não inclui as matérias necessárias. Usualmente um engenheiro de vendas *trainee*, leva um ano ou mais nos departamentos de manufatura e de serviços, para se familiarizar com os produtos e as suas características, além de formar a sua própria opinião. Normalmente, o primeiro trabalho na área de vendas será em conjunto com um engenheiro de vendas mais experiente.

1.9. Engenheiros na Gestão

É de responsabilidade da gestão, determinar os principais propósitos de um empreendimento, para antecipar as áreas de futuro crescimento, selecionar os projetos de pesquisa mais promissores, e formular a política a ser seguida. O gestor estabelece a forma de organização e a hierarquia, e ainda seleciona o pessoal executivo. Os engenheiros têm provado ser valiosos nas posições de direção, devido as suas habilidades em analisar os fatores envolvidos num problema, coletando os dados necessários, e extraindo conclusões corretas.

Os requisitos principais incluem uma base dos fundamentos da engenharia, habilidade nas relações humanas e destreza nos negócios. Numa análise final, o futuro da empresa depende da sua capacidade de gerenciamento e



administração. As estatísticas mostram que vinte e cinco anos depois da graduação, mais da metade dos engenheiros ocupam funções de gestão, supervisão ou administrativas.

1.9.1. Características da Gestão

O que é a gestão, e por que são os engenheiros tão desejados nas posições de gestão? Uma forma de ilustrar as relações entre as atividades de gestão e as outras funções da engenharia é a seguinte: a pesquisa e desenvolvimento determinam se um determinado objeto ou serviço pode ser feito e projetado. A produção determina como o objeto ou serviço, pode ser mais bem fabricado ou implantado. A gestão decide finalmente se tudo isto será feito.

A gestão deve decidir como serão utilizados os recursos e capacidades de uma empresa. As habilidades que caracterizam um bom engenheiro nas demais funções são úteis na hora de tomar tais decisões. A gestão é geralmente reconhecida como sendo o objetivo a ser alcançado pelos engenheiros que exercem outras funções.

Os requisitos para o sucesso na gestão são indicados pela ênfase na habilidade de resolver problemas que envolvam pessoas e dinheiro, assim como objetos. Um gestor é basicamente um líder com bom senso comum. Homens e mulheres jovens que tenham sido selecionadas pelos colegas das salas de aula, para dirigir centros acadêmicos e afins, e que tenham desenvolvido as suas responsabilidades de forma consistente, já mostram as suas qualidades de líderes desde bem cedo.

A gestão requer um ponto de vista amplo e global. Frequentemente, o tipo de pessoa que desenvolve atividade de gestão, está menos interessado na especialização técnica, tais como as pessoas que desenvolvem atividades de pesquisa e projeto. Ele (ou ela) deve estar interessado nos fatores sociais econômicos, assim como nos fatores científicos e devem ter vontade de olhar para o futuro, assim como para o presente. A maioria dos engenheiros de sucesso possui fortes motivações, que os carregam até o topo.

Para o engenheiro de desenvolvimento o desejo de apreço e reconhecimento pode ser a força motivadora; para o engenheiro de gestão o interesse maior está na posição e no poder.



1.9.2. Qualificações para a Gestão

As características mais importantes do gestor são: a sensibilidade nas relações humanas, e o entendimento dos desejos básicos de segurança e reconhecimento, e a aceitação da responsabilidade pela contribuição do bem-estar pessoal dos seus empregados.

O caminho mais usual para a gestão começa com as posições técnicas, seguidas de tarefas de supervisão e responsabilidades administrativas. Uma vez que é através dos seus primeiros empregos na área técnica, que os jovens engenheiros conseguem se estabelecer, é essencial um forte treinamento em engenharia. Algumas funções de engenharia fornecem uma grande experiência e, desta forma, facilitam o aparecimento de oportunidades de ingresso na gestão. A produção é a principal função que afeta os lucros de forma direta, e envolve o trabalho com pessoas e dinheiro. Os engenheiros de vendas representam a empresa frente aos clientes e estão familiarizados com o mercado e a competência. Nas indústrias de tecnologia de ponta, o engenheiro de desenvolvimento desenvolve um papel principal na criação de novos produtos. Muitos gestores industriais do futuro virão de algumas das funções de engenharia citadas anteriormente.

1.10. Engenheiros na Consultoria

A consultoria é uma atividade da engenharia que atravessa todo o espectro de funções. Por exemplo, um engenheiro mecânico especialista em projetos pode estabelecer a sua própria companhia e oferecer a preparação de planos e especificações para qualquer cliente que deseje contratá-lo. Um engenheiro industrial com particulares habilidades na automação de processos de produção pode oferecer os seus serviços como consultor a uma grande variedade de pequenas empresas.

A consultoria difere das outras funções na engenharia no que se refere aos problemas profissionais encontrados, às oportunidades econômicas apresentadas e às qualificações requeridas.

1.10.1. Características da Consultoria

O consultor pode ser tipificado pelo engenheiro civil que trata principalmente com o público. Ele pode inspecionar a casa de uma pessoa, pode esquematizar uma subdivisão de um problema para um engenheiro de



desenvolvimento, pode planificar uma planta de tratamento de esgoto para uma pequena comunidade, pode determinar os requisitos estruturais para uma obra de um arquiteto, ou projetar uma ponte para uma auto-estrada.

Os problemas técnicos podem tornar-se rotineiros, mas conseguir o desempenho e segurança necessário, com um mínimo de custo para o cliente, requer habilidade e destreza. Embora que as qualificações requeridas dependam da área de consultoria particular, algumas conclusões gerais podem ser extraídas com respeito à personalidade e experiência. Somando-se as aptidões indicadas pela função técnica a ser executada, os engenheiros consultores devem possuir uma facilidade especial de conhecer o seu público e vender as suas idéias. Na maioria dos casos, o seu sentimento comercial e organizacional é tão importante quanto as suas habilidades técnicas, na determinação do sucesso profissional nesta área.

A maioria dos excelentes engenheiros consultores combina os valores éticos e uma forte consciência de integridade pessoal, com a sua excepcional iniciativa e incessante motivação.

1.10.2. Qualificações para a Consultoria

Por definição, os consultores executam o exercício da sua profissão. Antes de colocar a corda no seu pescoço, eles devem adquirir a experiência necessária para desenvolver as suas atividades e formar as suas próprias opiniões. Além dos estudos do curso de graduação, eles precisam de um tipo especial de treinamento que pode ser obtido através da supervisão de engenheiros altamente competentes. Também é essencial o conhecimento prático dos procedimentos e leis comerciais, assim como da supervisão de pessoal.

1.11. Engenheiros na Academia

O ensino de engenharia é outra atividade que não pode ficar limitada a uma única função. Os indivíduos com competência incomum na elaboração de projetos, pesquisas, construção ou gestão podem escolher dedicar os seus maiores esforços na instrução de estudantes de engenharia, enquanto conduzem as suas pesquisas ou se exercitam nas bases da consultoria. Existem outras oportunidades no ensino de engenharia ou em assuntos relacionados tais como escolas e institutos técnicos. Embora um engenheiro recém formado esteja mais



interessado na prática profissional, a importância do ensino é tão grande na compensação e tão satisfatória que merecem ser considerados aqui.

1.11.1. Características do Ensino em Engenharia

É de aceitação geral que a universidade possui três funções básicas: a de implementar nas suas bibliotecas um armazém do conhecimento, a de transmitir este conhecimento aos ansiosos estudantes através dos seus professores, e a de aumentar este conhecimento através do trabalho dos seus estudantes e pesquisadores.

O professor de engenharia efetua a sua contribuição como professor na sala de aula, como conselheiro no seu escritório, e como investigador no laboratório, mas o ensino não é para qualquer um. Para poder ensinar o indivíduo necessita de um alto grau de maestria e habilidade de se comunicar, o que não é muito comum. De qualquer forma, é necessária uma alta capacidade intelectual, talvez os 25% melhores qualificados de uma sala de aula, seja uma boa indicação de capacidade intelectual adequada.

A comunicação efetiva de princípios abstratos e conceitos complexos para as pessoas jovens, e a resposta satisfatória destas, precisa de uma especial habilidade em expressão oral. A definição da sua própria direção e a de seleccionar os seus próprios critérios requer iniciativa, entusiasmo e perseverança.

1.11.2. Qualificações para o Ensino

O caminho normal para o ensino de engenharia inclui a formação de engenheiro mestre ou doutor, o que é possível após dois ou três anos de trabalho, após a graduação. Os graus de mestre e doutor em engenharia são conferidos em reconhecimento da maestria nas bases da engenharia e nas ciências físicas, competência especial de uma área particular do conhecimento em nível avançado, e pela habilidade de efetuar pesquisas e apresentar resultados.

Usualmente existem oportunidades de trabalho de ensino em meio turno, enquanto se obtém um grau superior. O caminho é longo e duro, mas para alguém que tem desejo de aprender, de dominar novos assuntos, e de ajudar



outras pessoas a aumentar os seus horizontes, o ensino oferece oportunidades extraordinárias.



2. COMO COMEÇAR O TCC EM ENGENHARIA

O TCC deve ser encarado como um projeto de engenharia. Um TCC em Engenharia deverá englobar ao menos as atividades dos engenheiros de concepção, engenheiros de projetos, engenheiros de instalação e construção e dos engenheiros de gestão. Estas atividades deverão ficar estampadas na monografia do TCC.

O TCC em engenharia deverá começar pela **idéia de um problema a ser resolvido** e não pela solução. Veja o exemplo da proposta de um aluno para o TCC:

“... quero criar um sistema de controle de tráfego urbano por imagens...”.

A proposta pode ser considerada inadequada, pois ela não define bem o problema e enrijece a solução a um sistema de captação de imagens.

Algumas perguntas foram feitas ao aluno sobre o seu tema:

A proposta é resolver um problema de tráfego urbano, o problema de como tratar imagens, ou o “problema” de passar no TCC?

Como você sabe que a melhor forma de controlar o tráfego é por imagens?

Será que esse método é pior que o de controle por medição simples do fluxo de veículos?

Pode se perceber que a proposta do aluno envolve pelo menos três problemas e isto tornará ineficiente as atividades do TCC. Um outro problema com os acadêmicos é a confusão entre Causa e Conseqüência. No caso, o acadêmico poderá pensar que “passar no TCC” é um dos problemas causa do TCC, no entanto ele será na realidade uma conseqüência da solução do problema. Se ele conseguir resolver o problema ele estará passado no TCC.

Para início deve se estabelecer um problema a ser resolvido. Uma proposta mais correta poderia ser:

“... quero criar um sistema eficiente para o controle de tráfego urbano...”.

Essa proposta não amarra a solução a um sistema de imagens, mas permite o estudo de outros métodos que porventura podem se tornar mais eficientes. Além disso, se você conseguir criar um sistema eficiente, seja por imagens, seja por medição de fluxo de pessoas ou veículos, você automaticamente passará no TCC.



Muitos alunos se queixam que o tempo disponível é muito limitado para implementar um sistema útil, no entanto, a utilização desse tempo geralmente é ineficiente.

Uma regra importante é que o TCC deve resultar em alguma coisa útil para a sociedade. Se você vai dedicar o seu tempo para fazer um projeto, então, que deste resulte alguma coisa de útil. É muito melhor executar um projeto simples de pouca complexidade técnica, porém com resultados úteis, que um projeto de alta complexidade que vai ser guardado em alguma gaveta ou em alguma pasta de arquivo morto do seu computador.

Depois da idéia bem formulada por escrito, se procede ao **Anteprojeto**. O anteprojeto inclui a definição dos objetivos principais e específicos, dos benefícios do projeto, dos interessados, do escopo (definição de metas e resultados), e da economia do projeto (recursos e viabilidade técnica e econômica). Inclui também a pesquisa por soluções alternativas, a análise de engenharia por meio de modelos e a definição de critérios para a seleção da alternativa mais apropriada.

Se o anteprojeto for aprovado pela autoridade competente (geralmente o professor orientador ou coordenador do TCC), procede-se com o projeto. No projeto se estabelecem as tarefas, os cronogramas, o calendário financeiro, a definição das especificações e dos índices de qualidade dos resultados, a análise dos riscos e a gestão do projeto. O anteprojeto e o planejamento podem consumir mais que 50% do tempo total incluída a execução. Há projetos bem sucedidos onde o tempo total da idéia ao objeto concreto reservou nada menos que 85% do total para o anteprojeto e planejamento. Os 15% restantes ficaram para a execução.

Os projetos mal sucedidos normalmente são ocasionados pela pressa do projetista a começar a execução. Em geral os acadêmicos tendem a negligenciar a etapa de análise do anteprojeto e do planejamento do projeto, reservando menos do que 5% do tempo para essas tarefas e 95% para a execução (bastante ineficiente).

Com o projeto concluído e aprovado, procede-se com o **projeto executivo**, que visa somente executar o previsto. Nos próximos tópicos serão tratados os assuntos mais relevantes para a solução dos problemas de engenharia.



2.1. Introdução aos Problemas de Engenharia

“Se tiver solução, então não é problema.

Se não tiver solução, também não é problema”.

Ditado oriental

O que significa a palavra *problema*? O que caracteriza o seu significado? O que eles têm em comum? Quais são as suas características? O que são os problemas de engenharia?

Existem várias definições, sendo algumas delas as seguintes:

“Um problema é uma questão não resolvida e que pode ser objeto de discussão, em qualquer área do conhecimento”.

“Um problema é qualquer questão que dá margem a hesitação ou perplexidade, por ser difícil de explicar ou de resolver”.

Você deve ter percebido pela leitura dos capítulos anteriores que a engenharia é essencialmente o estudo de problemas e das suas soluções. Isso torna o estudo do seu significado seja por demais importante, levando a uma análise precisa do que esse termo significa no âmbito da engenharia.

O surgimento de um problema acontece quando há a necessidade de transformar a ordem dos elementos naturais ou artificiais de um estado ou fase, para outro. Um estado ou fase de um determinado objeto abstrato ou real pode ser definido como sendo a característica ou comportamento num determinado instante de tempo. Por exemplo, se pensar agora na xícara de café que está aqui ao meu lado, encima da escrivaninha e ao lado do teclado do computador, pode se definir o estado presente desse sistema. À medida que o café vai sendo consumido, a massa do meu sistema xícara/café vai diminuindo e, portanto, há uma mudança de estado. Mudança de estado acontece também quando o café vai esfriando e quando a xícara é elevada até a boca, assim como no retorno para o nível da escrivaninha.

Um problema pode ser a transmissão de dados entre dois pontos, entre os quais existe uma montanha de 1000 metros de altura, assim como pode ser a construção de uma estrada que atravesse a Cordilheira dos Andes ou os Alpes. O problema pode envolver transformações reversivas ou não, como é o caso do aquecimento da água de chimarrão, que depois de aquecida pode novamente voltar ao seu estado inicial, diferente do carvão do braseiro que uma vez queimado produz um estado irreversível de transformação em CO, CO₂ e outros compostos.

A pesar dos estados serem sempre transitórios, podemos definir alguns estados intermediários como sendo “constantes” para efeitos práticos. Podemos abstrair a solução do problema como sendo uma “caixa preta” que transforma um sistema num estado inicial EI⁹ num estado final desejado EF¹⁰. A Figura 2-1 mostra um esquema da transformação. Quanto maior for a transformação ou quanto mais rápida, maior a energia e os recursos necessários para a solução do problema, e portanto, maior a necessidade de otimização, o que irremediavelmente força ao estudo por demais aprofundado do problema.

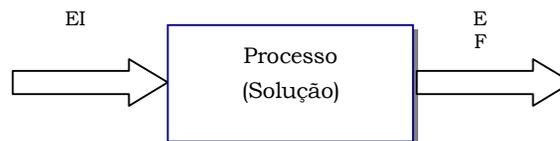


Figura 2-1 – Esquema da passagem de um sistema de um estado E para um estado S

Os recursos naturais nos fornecem os estados iniciais, cabendo aos engenheiros, pelo uso da sua inteligência e motivado pelos seus desejos objetivos ou subjetivos, a de implementar processos e soluções que sejam economicamente viáveis. Muitos processos de mudança de estado são efetuados pela própria natureza. Os engenheiros se aproveitam dessas através de técnicas de controle das grandes forças da natureza para uso em benefício da humanidade. Exemplos desses é o aproveitamento da força dos rios para a transformação de energia mecânica originada pela diferença de energia potencial de grandes quantidades de água, em energia elétrica, assim como o aproveitamento das gorduras saturadas retiradas das oleaginosas para a fabricação da margarina.

O trabalho do engenheiro está na implementação dos processos necessários para efetuar a transformação. A característica marcante dos problemas de engenharia é a grande quantidade de soluções possíveis. À medida que a complexidade do problema aumenta, aumentam também as alternativas de solução (assim também como a probabilidade de alguma coisa dar errado). A Figura 2-2 mostra exemplos de estados finais conseguidos pelos processos de engenharia a partir de estados iniciais.

Existem várias formas de solução para os problemas. Por exemplo, existem várias formas de suprimir a dor de cabeça de uma pessoa, através de vários tipos

⁹ EI: Estado de entrada (ou inicial).

¹⁰ EF: Estado de Saída (ou final).



de medicamentos, através de massagem ou até cortando a cabeça fora! Existem soluções conhecidas e soluções a conhecer, daí a grande utilidade dos engenheiros, que são treinados para acharem e construïrem as soluções mais adequadas. As soluções mais adequadas nem sempre são as melhores soluções. A **decisão**¹¹ por um determinado tipo de solução deve ser baseada nos critérios econômicos, ambientais e nos princípios morais e éticos.

Se não houver meios alternativos de alcançar um resultado esperado, o problema em si não existirá. De outra forma, se houver várias soluções possíveis com pontos positivos e negativos equivalentes, o problema estará criado, já que será necessário **decidir** qual a melhor forma de realizar a transformação desejada. A escolha de uma das alternativas de solução deve ser baseada em determinados **critérios**¹². Esses critérios são estabelecidos pelas necessidades, pela legislação vigente e pelos princípios éticos e morais. Um critério é aquilo que serve como base para comparação, julgamento ou apreciação. Tomando como exemplo uma fábrica de painéis, os critérios devem levar em consideração a toxicidade dos materiais e o custo envolvido. Uma pessoa poderá escolher as painéis de alumínio pelo seu baixo custo a pesar da sua comprovada toxicidade, no lugar de uma painél de vidro, ferro ou inox de elevado custo.

A transformação de um sistema de um estado inicial para um estado final diferente ocorre a custos de transformação de algum tipo de energia. Para esquentar a água do churrasco, deve-se queimar gás natural ou deve-se passar uma corrente elétrica através de uma resistência que por sua vez começa a esquentar. Para poder falar no telefone celular se precisa de uma bateria carregada. Alguém tem que pagar a conta da transformação!

Todos os processos de transformação são imperfeitos e sempre existem perdas. Estritamente falando, não existem processos realmente reversíveis. Por isso as soluções sempre serão imperfeitas e passíveis de contestação. As imperfeições e outras características dos sistemas físicos reais e dos sistemas

¹¹ Decisão: do latim *decisione*. Significados: resolução, determinação, deliberação. Sentença, julgamento. Desembaraço; disposição; coragem.

¹² Critério: Do grego *kritérion* pelo latim *criteriu*. Significa aquilo que serve de base para comparação, julgamento ou apreciação. Princípio que permite distinguir o erro da verdade. Caráter, norma ou modelo que serve para apreciação de um objeto (coisa, idéia ou acontecimento).



sociais e legais geram restrições na aplicabilidade das soluções, o que na engenharia denominamos de **fatores condicionantes**¹³.

Resumindo, somente existirá um problema [11] quando houver o desejo de efetuar uma mudança no estado das coisas, no caso em que houver mais de um meio possível de efetuar essa transformação e quando essas alternativas apresentarem vantagens e desvantagens difíceis de serem avaliadas entre si.

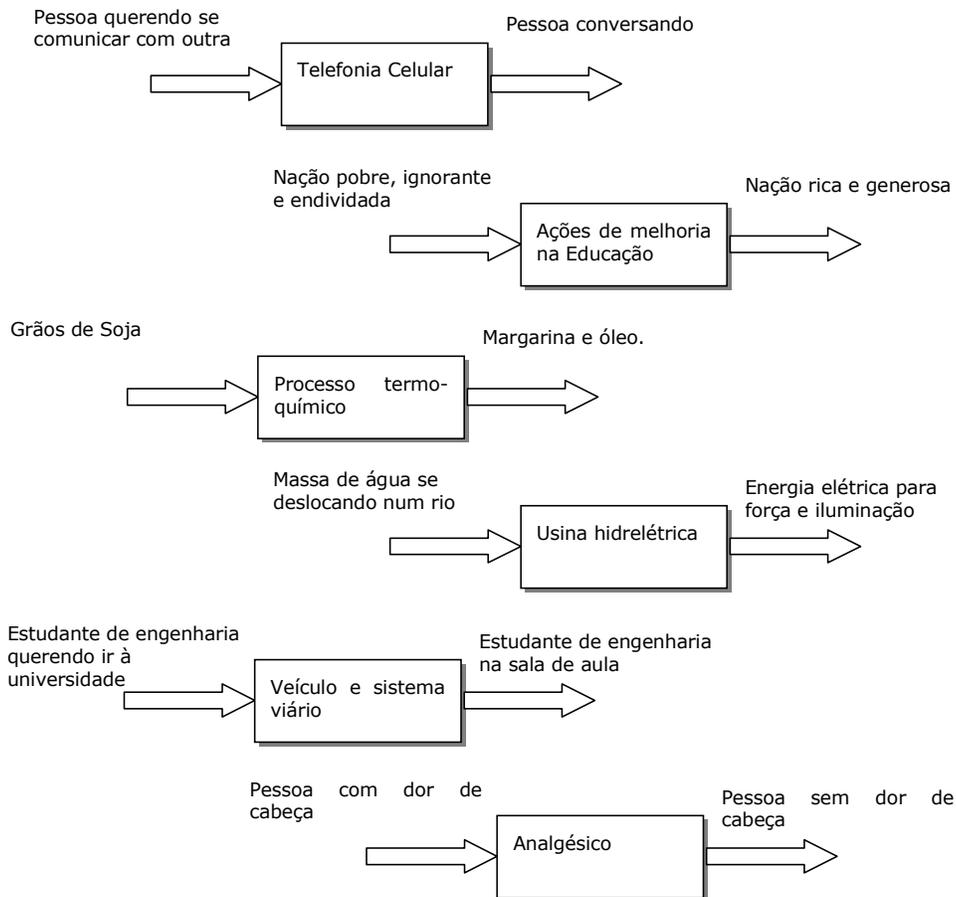


Figura 2-2 – Estado final conseguido através de processos de engenharia.

2.2. Os Critérios Contraditórios na Solução dos Problemas de Engenharia

Os problemas para o engenheiro surgem na identificação de alguma necessidade. A partir disso, o objetivo será traçado e os resultados serão projetados. Na fase inicial, o problema é definido de forma genérica, por exemplo, um “sistema de células de combustível” ou mais genericamente, um

¹³ Fator condicionante: Imposição resultante de circunstâncias ou de decisão prévia, que deve ser observada na solução de um problema. Restrição.



“sistema de energia mais barato e sem poluição”. Os problemas podem surgir de necessidades inéditas ou de necessidades de competição. Um exemplo desses últimos são as empresas que projetam telefones celulares, onde elas tentam otimizar os seus produtos pela adição de mais serviços, memória, aumento da autonomia, câmaras de vídeo, rádio FM, serviços Web, aplicativos Java®, jogos, etc. Nesse caso, o engenheiro parte de informações dos produtos existentes da concorrência e traça um objetivo que permita melhorar o seu produto com relação ao da concorrência, ou equiparando, ou criando diferenciais, ou reduzindo os custos. Essas decisões são tomadas muitas vezes em conjunto com o presidente da companhia e os clientes.

Em geral, as alternativas de solução para atingir os mesmos objetivos são numerosas, de forma que o engenheiro deverá utilizar dos seus conhecimentos adquiridos durante a sua formação e pela sua experiência profissional, usando de todos os seus talentos ^[11]. Na escolha da melhor solução, o engenheiro deverá confiar no seu senso comum e no seu julgamento pessoal, já que não poderá demorar demais para tomar a decisão pela solução que acredita ser a mais viável. Krick ^[11], comenta que *“A arte da engenharia compreende o engenheiro, para imaginar as soluções, e o discernimento para compará-las”*.

A maioria dos trabalhos de engenharia é “para ontem”. É normal o engenheiro ser pressionado para efetuar o seu trabalho o mais rápido possível. É comum nas empresas, o pessoal do departamento de vendas venderem um produto que ainda não foi totalmente projetado e nem produzido, se comprometendo com datas de entrega. Isso normalmente resulta em que o engenheiro pode não chegar a ter tempo hábil para conhecer todas as soluções possíveis. Nesses casos ele terá que tomar decisões baseado na sua experiência e bom senso.

Não deve se esquecer do fator econômico na solução de problemas de engenharia. Os resultados do trabalho do engenheiro devem ser acessíveis e consumir recursos limitados, além de possibilitar lucros para a companhia na qual ele trabalha. Os produtos que o engenheiro desenvolve devem ser baratos, atrativos, práticos, funcionais, robustos, confiáveis e duradouros. Todas essas características geralmente são antagônicas, e é onde o engenheiro deverá analisar quais delas são as mais importantes. Assim, o engenheiro deve manter



um cuidado permanente com os custos de produção e a viabilidade econômica das soluções criadas.

Os engenheiros sempre devem se preocupar com a viabilidade da produção dos seus projetos tanto do ponto de vista técnico quanto econômico-financeiro. Os engenheiros que projetaram a escova de dente elétrica da seção anterior se preocuparam nas características e funcionalidade dos materiais escolhidos de forma a que o seu produto tenha um preço acessível às pessoas e que ainda gere lucros razoáveis para a empresa. O engenheiro deve se preocupar com os vários aspectos do seu projeto e não somente com a concepção de um protótipo, mas deve olhar mais além.

Praticamente todos os problemas de engenharia apresentam objetivos contraditórios ^[11]. Por exemplo, um fabricante de automóveis populares quer que os seus veículos tenham o melhor conforto, maior durabilidade, confiabilidade, potência, espaço interno, segurança, qualidade, menor consumo e melhor design. Tudo isso e ainda tem que ser mais barato que um não-popular. Obviamente isso pode parecer loucura, mas essa é a vida do engenheiro. Assim, ele deverá conciliar os critérios que são contraditórios. Por exemplo, para reduzir custos, normalmente na falta de legislação específica como acontece nos países subdesenvolvidos (onde uma vida vale menos), se sacrifica à segurança, i.e., se retiram do projeto os sistemas de segurança tais como o *air-bag*¹⁴ e do sistema de freios ABS¹⁵ no lugar de tirar os “enfeites” do design tais como as rodas de liga leve, o teto solar e o ar-condicionado. Nos países desenvolvidos (onde uma vida vale mais) os itens de segurança são obrigatórios para todos os veículos de passageiros, e nesses casos, para reduzir custos, se sacrificam os itens de design e conforto. Você também poderá verificar que um automóvel popular de baixo custo consome mais combustível que um automóvel não-popular. I.e.¹⁶ porque existe uma política de marketing que sutilmente engana o consumidor tentando induzir a idéia de que automóvel popular tem custo menor que os convencionais. Os motores dos automóveis convencionais (não-populares) possuem melhor desempenho. A qualidade dos automóveis convencionais é melhor porque as suas partes são mais testadas e passam por exames mais rigorosos. Embora as

¹⁴ Air-bag: sistema de segurança na forma de bolsa, que se infla numa colisão, com o objetivo de proteger os passageiros de um veículo..

¹⁵ ABS: Anti-blocking Break System ou sistema de freio anti-bloqueante.

¹⁶ I.e.: “Id est” do latim, significa “Isto é”.



peças sejam mais caras, as peças dos automóveis convencionais duram muito mais e existe uma probabilidade bem menor de comprar uma peça com defeito do que nos automóveis populares.

Então, somam-se às especificações técnicas contraditórias, o pano de fundo da legislação, as políticas, as normas e os costumes da sociedade em questão. O engenheiro deverá encontrar o equilíbrio satisfatório dentro desse mar de fatores condicionantes. Vários dos critérios podem não ter uma medida comum, que sirva como base para tomar as decisões do projeto, como por exemplo: qual é o peso que a segurança tem no projeto? Qual o peso do design? Qual o peso do custo final? Como medir esses aspectos? Como medir o fator de segurança? As decisões dos engenheiros são dificultadas por esses conflitos e pela subjetividade de alguns tópicos.

Talvez surpreenda você que a maioria dos engenheiros pode passar mais tempo tratando com pessoas do que com as máquinas e seus cálculos. Ele usa bastante tempo do seu trabalho para contatar os clientes e fornecedores, dar instruções aos seus subordinados, responder questionamentos, trocar idéias, procurar aprovações e solicitar cooperação. A capacidade de manter boas relações pessoais com o objetivo de somar esforços para atingir um objetivo comum, é essencial na profissão da engenharia, e pode ser o diferencial na escolha de um profissional ainda por sobre o critério técnico. Em geral, os engenheiros passam muito pouco tempo trabalhando com objetos como o fazem os técnicos mecânicos, químicos e eletricitas. Colocar a “mão na massa” não é uma tarefa comum dos engenheiros apesar de que a maioria de nós engenheiros gostaria de fazer isso o tempo todo. Imagine um Engenheiro Civil trabalhando na colocação de tijolos nas paredes de um prédio. Obviamente é mais barato contratar um pedreiro para fazer isso, e provavelmente o pedreiro vai fazer o mesmo trabalho mais rápido e mais bem feito. Se o Engenheiro Civil mesmo assim quiser participar com as mãos do levantamento das paredes, provavelmente a obra ficará um caos, já que os outros membros da equipe podem chegar a ficar sem coordenação, e a obra extrapolar o seu cronograma, aumentando os custos da obra. Analogamente você pode imaginar um Engenheiro Eletricista ajudando a passar os fios e conectando os motores numa grande fábrica; um Engenheiro Eletrônico montando computadores e instalando softwares; um Engenheiro Químico provocando reações termoquímicas num



laboratório; um Engenheiro Mecânico soldando a comporta de uma hidrelétrica ou um Engenheiro Agrícola montando um silo ou uma colheitadeira.

Os engenheiros passam mais tempo abstraindo idéias, supervisionando trabalhos, resolvendo problemas e conciliando conflitos. Geralmente são os técnicos que constroem e testam os protótipos idealizados pelos engenheiros, sendo esse último quem trabalha com as informações e cálculos, comunicando-se e supervisionando equipes, mais do que trabalhando com máquinas ou colocando a “mão na massa”. O engenheiro coloca a mão na massa normalmente só nos primeiros três ou quatro anos de trabalho profissional. Assim, é pouco provável que um jovem que goste de montar e desmontar equipamentos, fazer experiências químicas, construir com as próprias mãos, seja mais apto para a engenharia do que outro jovem que goste de atividades mais abstratas. O profissional da engenharia usa mais do raciocínio que das mãos, sendo treinado para isso. Conheci muitos técnicos brilhantes que não se deram bem na graduação em engenharia, e jovens sem treinamento técnico algum, que hoje são grandes engenheiros. Algumas pessoas têm a falsa idéia que a graduação em engenharia é a continuação do curso técnico. Isso não é verdade, já que a continuação do curso técnico é o curso técnico superior¹⁷.

Tanto na escala macro quanto micro, as obras da engenharia são sistemas complexos. Quanto maior ou menor, maior o nível de complexidade. Um pequeno circuito integrado pode estar composto de milhões de transistores interconectados entre si na forma de uma máquina extremamente complexa. A máquina que produz esses circuitos integrados pode ser mais complexa ainda. O projeto de uma usina hidrelétrica pode conter milhares de variáveis relacionadas umas com as outras. A causa dessa enorme complexidade, típica dos projetos de engenharia, e da grande quantidade de conhecimentos necessários, os projetos devem ser feitos por equipes de engenheiros das mais diversas áreas. Por exemplo, para a fabricação de circuitos integrados são necessários Engenheiros Químicos e de Materiais, além dos Eletrônicos (sem esquecer dos bacharéis em Física). Quando o sistema é composto de vários subsistemas, cada subsistema pode ser projetado por uma equipe especial de engenheiros, como é o caso das montadoras de automóveis. Uma equipe projeta os sistemas mecânicos de propulsão (motor), composta por Engenheiros Mecânicos e Eletrônicos, outra

¹⁷ Também conhecido como tecnólogo.



equipe de Engenheiros Mecânicos e de Materiais projeta o sistema do chassi, da tração e suspensão, uma outra equipe de Engenheiros Químicos, Mecânicos e de Plásticos projetam os revestimentos e pinturas; outra de Engenheiros Eletrônicos e de Plásticos, os painéis; e assim sucessivamente, e no final, os Engenheiros Industriais integram tudo isso num projeto só, constituindo um sistema único.

Somado a tudo isso, a função do engenheiro se relaciona com a identificação das necessidades do ser humano ^[11] e do seu entorno, por exemplo, com a obtenção de novas fontes de energia e formas otimizadas de aproveitamento dos recursos naturais de forma a obter mais com menos, de forma sustentável com o objetivo de beneficiar a humanidade com as suas obras. O engenheiro deve se preocupar com a aceitação da sua obra pela sociedade para a qual trabalha e as suas repercussões futuras tanto objetivas quanto subjetivas e as preferências dos usuários. O trabalho do engenheiro está intimamente ligado com as necessidades sociais e com a interação das suas obras com a sociedade.

É o significado social do trabalho do engenheiro, somado aos aspectos econômicos e financeiros dos problemas, que torna menos técnica a sua função, mas que nem por isso a mesma ficará menos técnica, mas pelo contrário, a sua função fica mais complicada.

2.3. A Abrangência dos Problemas da Engenharia

Os problemas de engenharia apresentam tipos de atividade os mais variados, atendendo interesses e capacidades muito diferentes. Para poder ilustrar a abrangência dos problemas da engenharia pode se tratar dois problemas hipotéticos.

O problema PA consiste no caso de um engenheiro que deve participar na concepção de um sistema que implementa uma interface de um computador com as ondas cerebrais de um eventual usuário. A entrada são as ondas cerebrais e a saída é a movimentação do ponteiro cursor na tela do computador. A solução poderá ser usada por todas as pessoas (clientes) que possuírem um computador pessoal. Neste caso o cliente é genérico e não conhecido, porém se sabe são pessoas humanas. No caso, não há equipamentos existentes conhecidos e não se sabe ainda como fazer um orçamento.



O problema PB consiste no caso de um engenheiro empregado de uma empresa que presta serviços de especificação, instalação e operação de sistemas de energização através de geradores a diesel e de outros sistemas automáticos que possibilitam redução de custos de energia nos horários de ponta de consumo. A solução depende de cada cliente, em geral são grandes indústrias dos mais variados tipos e requisitos. Neste caso o engenheiro deve se familiarizar com o tipo de processo envolvido na indústria em questão e somente depois desenhar um sistema adaptado às necessidades do cliente. Os componentes da solução já estão prontos e na sua maioria são fabricados pela empresa do engenheiro e, portanto o orçamento independe de novos desenvolvimentos. Uma vez elaborado o orçamento, é repassado ao cliente para a sua aprovação. Depois de aceita a proposta, o engenheiro acompanhará a instalação e os testes iniciais até a posta-em-marcha do sistema, e posteriormente se manterá sempre em contato até que as características de funcionamento sejam consideradas rotineiras.

O PA se refere a um sistema eminentemente novo, cuja natureza ainda não é bem conhecida, sendo pequena a experiência anterior que possa direcionar à solução ótima. As incertezas são grandes e é necessário muito esforço mental. Na busca pela solução, muitos dos conhecimentos ainda não são existentes havendo que conduzir pesquisas para poder atingir o objetivo.

O PB está relacionado com a aplicação de componentes e dispositivos já disponíveis para adaptar às necessidades de clientes bem conhecidos. Neste tipo de trabalho os engenheiros têm a disposição um grande acervo de experiência neste tipo de solução em condições semelhantes, sendo este tipo de trabalho relativamente repetitivo.

A principal característica do PA é o seu caráter precursor e inovador e a do PB é adquirir conhecimento completo das necessidades de cada cliente em particular. Nas tarefas do tipo PA o engenheiro encontra oportunidades em contribuir com algo novo para a humanidade, enquanto que a oportunidade no PB é de contribuir diretamente para com um cliente e de acompanhar os resultados obtidos. Ambos os tipos de problemas podem proporcionar a satisfação ao engenheiro. Os dois problemas citados anteriormente estão nas duas extremidades na vasta abrangência das atividades do engenheiro, como mostra a Figura 2-3.



Figura 2-3 – Abrangência dos problemas de engenharia.

O projeto de sistemas tais como um sistema de limpeza bucal sem o uso das mãos, um reator de fusão nuclear, uma estrada à prova de acidentes, uma fábrica de componentes eletrônicos e um software de computador ficam compreendidos dentro da sua vasta abrangência. A solução de cada um desses problemas requerem da aplicação do processo da solução que será tratado no próximo capítulo. Em cada caso há um objetivo declarado e um problema específico a se resolver.

2.4. Conclusões sobre os Problemas de Engenharia

O engenheiro antes de tudo é um solucionador de problemas. Assim como se espera que o médico, resolva um problema de doença, ou um advogado um problema de justiça, espera-se do engenheiro, por exemplo, resolver um problema técnico de aumento e otimização da produção de alimentos para eliminar a fome do planeta; se o problema for de poluição, espera-se que o engenheiro resolva isso criando motores de combustão mais sofisticados e com melhor desempenho, catalisadores para os gases do escapamento, formas de propulsão não poluentes, etc. O trabalho do engenheiro parte de uma necessidade ou requisito a ser satisfeito, formulado em termos genéricos inicialmente e depois de uma análise mais apurada resulta numa lista de especificações, dispositivos, estruturas e processos que satisfazem as necessidades de forma econômica.

Para chegar a uma solução adequada, dentre as várias existentes, o engenheiro deverá tomar decisões a partir dos seus conhecimentos, o seu talento, a sua experiência e deverá gerar os critérios necessários para arbitrar os conflitos e as contradições. Normalmente o tempo é limitado e não há como analisar em detalhe todas as possíveis soluções a partir de dados incompletos e



às vezes contraditórios. Dessa forma, o engenheiro deverá decidir de acordo com o seu bom senso e julgamento pessoal.

É bastante comum que uma solução a um problema de engenharia não seja aceito por um cliente por não satisfazer os critérios de ordem econômica ou financeira. Normalmente essas empresas somente aceitam a contratação da solução quando o custo da mesma se encaixa nas suas possibilidades econômicas visando lucros a curto e médio prazo.

A seguir, nos próximos três capítulos, é tratado o método de engenharia para a resolução de problemas, o projeto e a modelagem na engenharia. Leia esses capítulos para lhe dar motivação e embasamento antes de iniciar com o TCC. O capítulo subsequente a esses três, trata sobre a importância da comunicação na engenharia além de dar recomendações importantes para a elaboração das comunicações escritas, gráficas, orais e para as suas apresentações audiovisuais.



3. O MÉTODO DA ENGENHARIA PARA A SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Resolver um problema consiste em buscar a solução ótima dentre todas aquelas que satisfaçam os requisitos e os fatores condicionantes. Os engenheiros possuem uma metodologia específica para o tratamento dos problemas de engenharia, sendo o tema principal deste capítulo.

3.1. A Generalização dos Problemas de Engenharia

O primeiro passo para resolver um problema de engenharia é a definição clara do mesmo. Para isto é necessário conhecer as suas características, reações e comportamentos. Podemos resumir o problema usando o conceito de estados visto no capítulo anterior. Assim por exemplo, o estado inicial do problema poderia ser EI = água do rio, e o estado final EF = água potável. Partindo da análise exaustiva e aprofundada das características da água do rio e da água potável para conhecer as suas características é que se procede com a solução do problema de engenharia. Alguns **fatores condicionantes** podem ser: a cor da água depois do tratamento ou transformação, o custo, a velocidade do processo de transformação e até o sabor da mesma. Os critérios podem alterar os fatores condicionantes menos importantes, por exemplo, o sabor pode ser um critério mais importante que a cor.

Na engenharia é comum falar que o conhecimento do problema é a metade da sua solução. Embora, esse ditado possa parecer um pouco exagerado, serve para mostrar a importância do conhecimento das variáveis envolvidas no problema.

O processo da solução do problema inclui o estudo das tradições, opiniões, soluções anteriores e dos recursos disponíveis, entre outros aspectos. Tudo isso para tentar conhecer a verdadeira natureza do problema. Não é menos importante a perseverança e o tempo disponível para se dedicar ao estudo do problema.

Depois da sua definição, procede-se com a busca das possíveis soluções através de pesquisas, experiência, conversas com outros engenheiros e bastante criatividade, que façam surgir um conjunto de soluções aceitáveis para satisfazer a maioria dos critérios e dos fatores condicionantes.



Posteriormente surge a necessidade da tomada de decisão, para que dentre as possíveis soluções seja escolhida aquela que de acordo com os critérios e fatores condicionantes é a que melhor se adapta a aquele problema.

3.2. O Processo da Solução

O processo da solução dos problemas de engenharia pode ser dividido nas seguintes fases:

- Formulação
- Análise
- Pesquisa
- Decisão
- Especificação

A fase da **formulação** compreende a definição do problema usando termos amplos e genéricos, dando ênfase aos estados inicial e final.

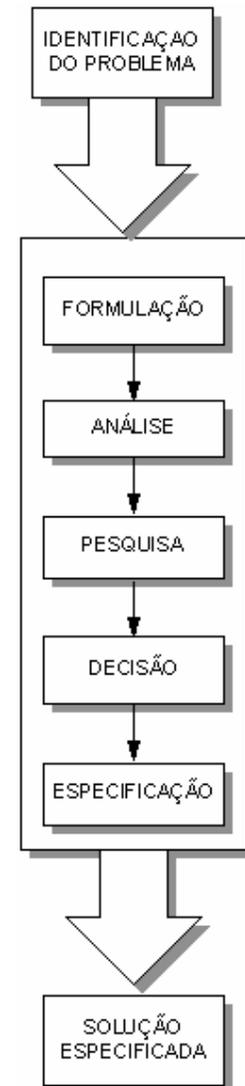
A fase da **análise** do problema compreende a definição do mesmo em termos relativamente mais detalhados. Incluem a aquisição, seleção, análise e processamento das informações com o objetivo de determinar as características específicas do problema.

A fase da **pesquisa** inclui a busca das soluções possíveis para o problema pela investigação, criatividade e outros meios.

A fase da **decisão** é onde as várias soluções são avaliadas, comparadas e eliminadas até o surgimento da mais conveniente.

A fase da **especificação** é a descrição completa e detalhada das características e do desempenho a ser atingido com a solução escolhida.

Podemos observar que a definição do problema aparece em duas etapas: na **formulação** e na **análise**. Isto é feito com o objetivo de evitar a tendência natural dos engenheiros de no intuito de resolver o problema o antes possível, se perca no meio dos detalhes sem ainda ter tido uma visão ampla do problema.





A fase da especificação é necessária para que as decisões dos engenheiros possam ser transmitidas em detalhe aos responsáveis pela sua aprovação, construção e operação. Os bons engenheiros admitem a existência de um determinado método para o processo de solução que proporciona os melhores resultados tanto técnicos quanto econômicos. O método desordenado da tentativa e erro não garante a solução adequada e nem a melhor solução apesar de aparentar ser o caminho mais direto para a solução de um problema.

O processo da solução inclui a atividade e os eventos que acontecem desde a identificação do problema até a especificação detalhada da solução satisfatória dos critérios econômicos, funcionais e outros. É nesse processo geral que o engenheiro aplica os seus conhecimentos especializados e as suas habilidades. O **planejamento das atividades** da solução somada à distribuição e estimativa dos recursos necessários é chamado de **projeto**. É através do **projeto** que os engenheiros produzem as estradas, pontes, eletrodomésticos, aviões, automóveis, computadores, etc.

O projeto é o processo que tem como objetivo produzir de forma econômica e funcional: novas estruturas, dispositivos, máquinas, processos e serviços que contribuam para o domínio do meio ambiente, e é por isso que o projeto é a essência das atividades da engenharia. O projeto de por si é uma tarefa emocionante porque é a exploração do desconhecido, é um desafio porque exige a manifestação da capacidade criativa e o exercício do bom senso. O ciclo de projeto será tratado no próximo capítulo.

3.3. A Fase da Formulação do Problema

Você acha possível poder resolver um problema sem conhecê-lo realmente? É óbvio que não, embora seja uma ação comum achar que o problema é conhecido e partir para a ação de forma precipitada. Para o engenheiro o bom senso indica que antes de entrar no detalhe das atividades deve se analisar o problema geral antes de entrar nos detalhes da solução para identificar qual é realmente o problema e se vale a pena ser resolvido. Cada hora gasta nesta análise vale por quatro na ação.





Apesar de que esta fase usa uma pequena parcela do total da resolução de um determinado problema de engenharia ela a primeira e mais delicada fase porque uma formulação mal feita pode levar a resolver problemas inexistentes.

As atividades do engenheiro começam com a formulação de um problema, com a descrição do estado atual de certas coisas e do estado final desejado. Deste processo participam três atores principais ou interessados que são: o cliente, o usuário e o engenheiro. Todos esses com interesses diferentes e visões particulares sobre o problema. Cabe ao engenheiro esclarecer detalhadamente o problema, de forma que as soluções possíveis sejam percebidas como satisfatórias tanto pelo cliente quanto pelo usuário.

Uma tarefa importante a ser realizada pelo engenheiro é a separação dos problemas em hierarquias de causa-efeito, para identificar as verdadeiras causas e não as suas conseqüências. Resolver a causa dos problemas é mais eficiente (e sustentável) que resolver problemas conseqüência.

3.3.1. Exemplo de Formulação 1

Manchete de Jornal: *“Índice de mortes por armas de fogo aumenta em 20%”*

Reflexão: Pela manchete do jornal muitas pessoas podem achar que o problema são as armas de fogo. Então, a solução “lógica” para algumas pessoas é a proibição da comercialização das mesmas. Alguém disse uma vez que *“Armas não matam pessoas. Pessoas matam pessoas”*. Se você pensar assim então o problema não são as armas e sim as pessoas. Devem se fazer perguntas de forma lógica procurando a causa dos problemas tentando uma formulação ampla, por exemplo:

Por que as pessoas matam pessoas? Respostas possíveis: 1. Porque são doentes mentais. 2. Porque têm necessidades básicas não satisfeitas. 3. Porque são ameaçadas. 4. Porque não dão valor à vida. 5. Porque não têm valores morais.

Daqui para frente temos mais seis perguntas para responder, que são:

1. Por que são doentes mentais?
2. Por que têm necessidades básicas não satisfeitas?
3. Por que são ameaçadas?



4. Por que não dão valor à vida?

5. Por que não têm valores morais?

Seguindo para o próximo nível:

1. Por que são doentes mentais? Respostas possíveis: 1.1 Por que ficaram estressadas por muito tempo. 1.2 Porque nasceram assim. 1.3 Porque não têm acesso a assistência médica psiquiátrica. 1.4 Porque até então ninguém se deu conta que ele era doente. 1.5 Porque foram maltratados desde crianças.

2. Por que têm necessidades básicas? Respostas possíveis: 2.1 Porque são pobres. 2.2 Porque são ignorantes. 2.3 Porque não conseguem trabalho. 2.2 Porque ganham muito pouco. 2.3 Porque têm muitos filhos. 2.4 Porque perdem tudo o que ganham no jogo e na loteria. 2.5 Porque pagam muitos impostos. 2.6 Porque não sabem fazer nada. 2.7 Porque não sabem ler e nem escrever. 2.8 Porque estão endividadas.

3. Por que são ameaçadas? Respostas possíveis: 3.1 Vizinhos com necessidades. 3.2 Porque não há respeito pela propriedade alheia. 3.3 Porque não há segurança. 3.4 Porque não há valores morais nas pessoas que moram no entorno. 3.5 Porque as pessoas são pobres.

4. Por que não dão valor à vida? Respostas possíveis: 4.1 Porque são ignorantes. 4.2 Porque são doentes mentais. 4.3 Porque foram maltratadas desde crianças 4.4 Porque não têm valores morais.

5. Por que não têm valores morais? Respostas possíveis: 5.1 Porque foram abandonadas por um ou ambos os pais. 5.2 Porque cresceram num ambiente pobre e ignorante. 5.3 Porque sempre fizeram o que quiseram, nunca houve limites.

Assim sucessivamente podemos partir para novos níveis hierárquicos até atingir as hierarquias mais básicas, que representarão a verdadeira origem dos problemas conseqüência; por exemplo:

4.1 Por que são ignorantes? Respostas possíveis: 4.1.1 Porque nunca foram à escola. 4.1.2 Porque não gostavam de estudar. 4.1.3 Porque tinham que trabalhar. 4.1.4 Porque achavam que não era necessário estudar. 4.1.5 Porque não foram bem estimuladas na primeira infância. 4.1.6. Porque os seus corpos



não se desenvolveram por desnutrição na infância. 4.1.7. Porque os seus pais eram ignorantes.

Os engenheiros gostam de representar idéias na forma de diagramas e gráficos e quem sabe você já pode imaginar uma forma gráfica de representação da relação hierárquica dos problemas apresentados acima como mostra a Figura 3-1.

Às vezes, o tipo de diagrama mostrado na Figura 3-1 é chamado de diagrama da árvore de problemas ou diagrama causa-efeito. Um tipo parecido de diagrama, que segue a mesma lógica é o diagrama espinha-de-peixe.

No diagrama de árvore de problemas tenta se identificar quais os problemas causa principais que deverão ser alvo de atividades que tendam a minimizá-los para resolver o problema consequência principal. Podemos deduzir da árvore montada que a principal causa das mortes por arma de fogo tem origem nas necessidades básicas e na ignorância das pessoas. Isto não se resolverá pela proibição da comercialização de armas de fogo, mas pela educação das pessoas e pela satisfação das suas necessidades básicas.

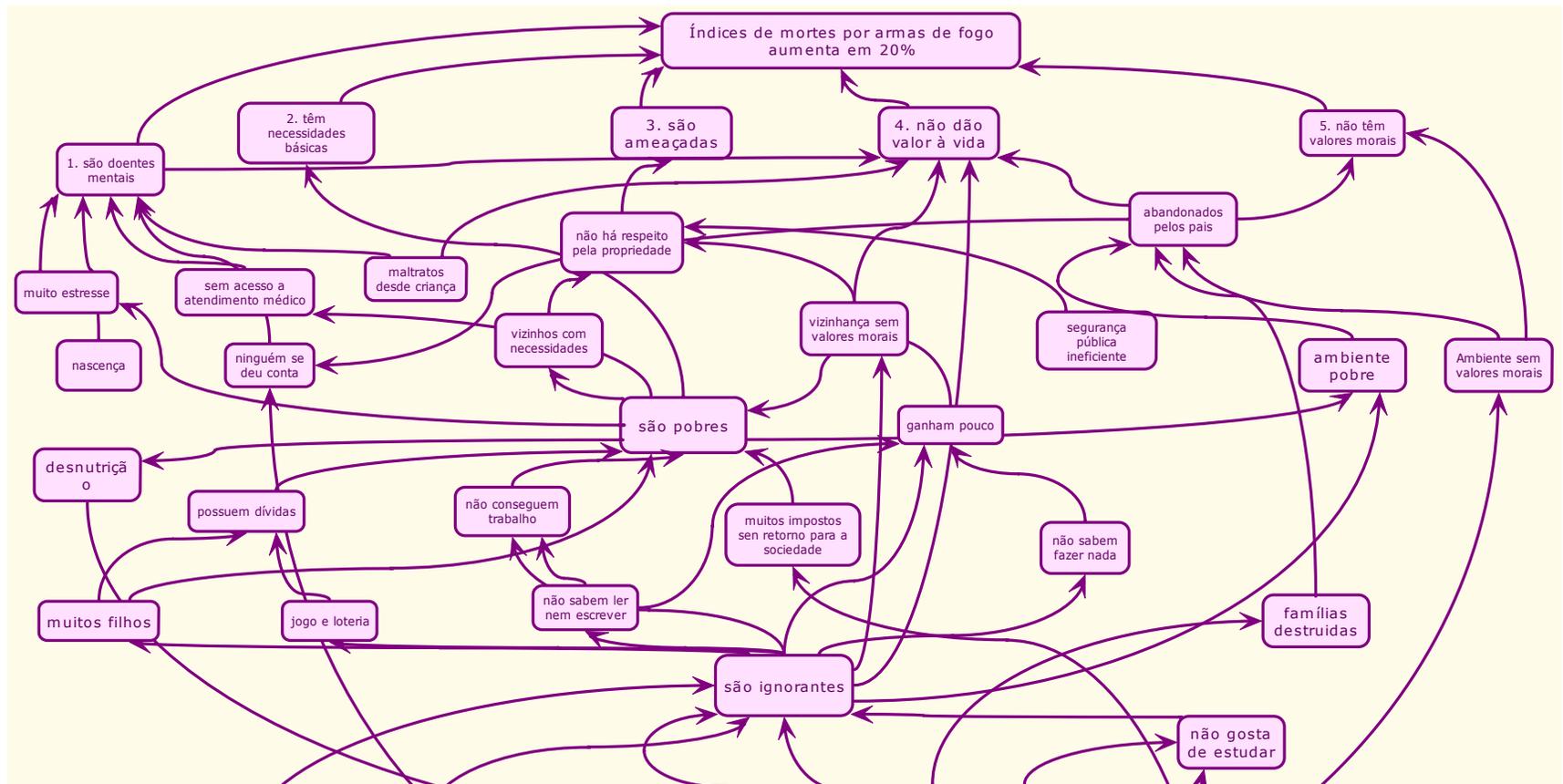


Figura 3-1 – Árvore de Problemas inicial para ajudar a formulação 1.

3.3.2. Exemplo de Formulação 2

Manchete de Jornal: “Doenças afligem a cidade de Santa Lucia”.

Ao ler esta manchete você pode achar que conhece o problema: “Doenças”. Talvez não seja esse o problema real. Uma solução “lógica” para esse problema poderia ser: “Envio de médicos e medicamentos”. Certo? Não,... Errado!

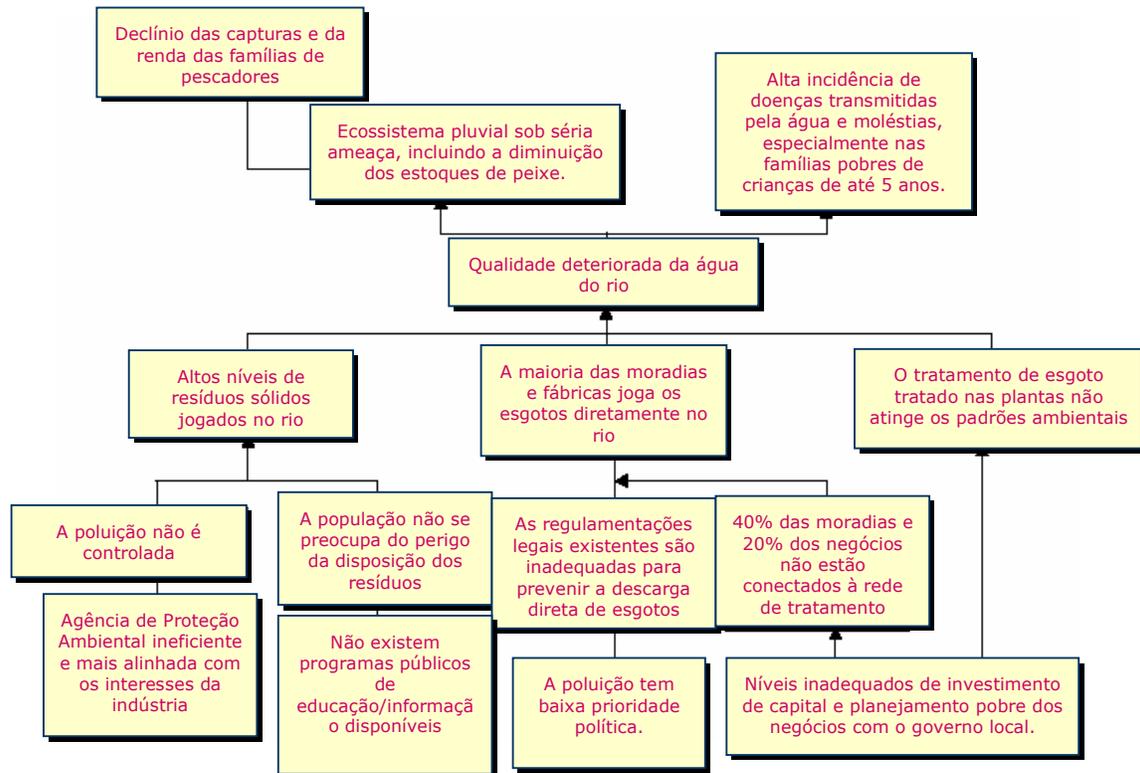


Figura 3-2 – Diagrama de árvore para ajudar na formulação 2.

O diagrama da Figura 3-2 ajuda a ter uma visão geral dos problemas relacionados. Pode se observar que o problema real pode ser ocasionado por um ecossistema pluvial deteriorado, provocado na sua vez pela falta de sistemas de tratamento de esgotos, que na sua vez é provocado pelas deficiências nas regulamentações, fiscalizações, políticas públicas, omissão do setor privado e ineficiência dos sistemas educacionais. A assistência médica e os medicamentos podem ser úteis, porém, não resolvem os problemas causa que continuam a fabricar as suas conseqüências.



3.3.3. Exemplo de Formulação 3 – A Estória do Elevador Lento

Conta uma estória sobre o relato do síndico de um prédio comercial: “As reclamações dos clientes/usuários pela demora do elevador aumentaram 90% nos últimos três meses”.

Este relato foi levado como reclamação à empresa construtora como sendo um problema de projeto. O prédio em questão possuía 15 andares e dois elevadores. A direção da companhia de construção levou o problema ao engenheiro projetista que desenhou as estruturas e os sistemas de acesso para providenciar alternativas de solução. Prematuramente o problema foi formulado como sendo:

Formulação X: “Os elevadores são lentos demais”.

Esta formulação foi encaminhada ao fabricante de elevadores, que prontamente encaminhou ao seu departamento de engenharia elétrica para reprogramar os computadores e os inversores de frequência com objetivo de acelerar o movimento dos elevadores mantendo os critérios de segurança e conforto. Embora os elevadores tenham ficado mais rápidos, a diferença no tempo de espera não era significativa e as reclamações continuaram a acontecer (Custo da reprogramação e testes: R\$ 6000,00 – 15 dias úteis). Esta proposta gerou uma nova formulação para o mesmo problema:

Formulação Y: “O número de elevadores projetados é insuficiente”.

Com essa nova formulação o fabricante de elevadores sugeriu à construtora a colocação de um novo elevador no prédio. A direção da construtora solicitou ao engenheiro projetista que faça as alterações necessárias no projeto para comportar um terceiro elevador e que prepare um novo orçamento. Contando com os reforços na estrutura mais as alterações nos sistemas elétricos, hidráulicos e de telecomunicações, três meses de trabalho, outras ações e um mês de reprojeto, a inclusão do novo elevador ficou orçada ao custo em R\$ 460000,00 e R\$ 150000,00 de mão de obra a ser absorvida pela construtora. (Custo do reprojeto: R\$ 12000,00 – 35 dias úteis). Haverá também um aumento no custo fixo do condomínio pela manutenção mensal do novo elevador.

Até esse ponto, já se gastaram R\$ 1800,00 (50 dias úteis), nenhuma melhoria havia acontecido e nenhuma decisão tinha sido tomada, e ainda um gasto de R\$ 610000,00 simplesmente para acabar as reclamações dos usuários era economicamente inviável. Ao perceber os valores envolvidos, o diretor da construtora chamou um dos seus engenheiros que acabava de retornar das férias



para pedir que elaborasse uma alternativa de solução eficiente e econômica, sem comentar os antecedentes das formulações anteriores. Ele disse ao seu subordinado: "... vai lá e verifica qual é o problema real...". O engenheiro, recém voltado das férias e com a cabeça limpa, foi falar com o síndico. Uma das suas primeiras ações foi verificar a lista de reclamações, tentando classificá-las pela forma e tipo. Preparou um pequeno formulário de pesquisa de satisfação que foi entregue aos usuários dos elevadores e usou duas horas por dia do seu tempo, durante quatro dias, no saguão para conversar com as pessoas ao respeito do problema. Ligou para os síndicos de outros prédios similares que a construtora tinha construído e perguntou qual a média de reclamações por mês a respeito da demora dos elevadores, para ter uma noção de quantas reclamações por mês seriam consideradas aceitáveis ou "normais". Na análise da classificação das reclamações encontrou um fato incomum (desequilíbrio): o número de reclamações das mulheres estava constituía 90% do total. Analisando essa nova informação, excluindo os homens, juntou duas palavras para definir a nova formulação do problema: MULHER + TEMPO. É nesse universo que a resposta para o problema deveria surgir. Com essa nova análise, e meio encabulado de levá-la ao seu diretor, por achá-la pouco profissional (até discriminadora) da parte de um engenheiro, elaborou uma nova formulação (secreta) para problema:

Formulação Z: "As mulheres ficam em desconforto durante a espera".

Você pode ver que o "elevador" já não consta mais como problema. Esta nova formulação sugere encarar o problema de uma forma totalmente diferente das formulações X e Y com assuntos completamente diferentes dos que se aprendem numa escola de engenharia! Imagine, segundo os físicos, o tempo não existe, e segundo muita gente (inclusive mulheres), ninguém entende as mulheres! Como resolver um problema existencial desses!

Como todo bom engenheiro, ele preferiu tratar primeiro o assunto que pode ser mais "fácil" de lidar: o TEMPO. De acordo com os psicólogos, a passagem do tempo é uma percepção mental. Ele pode passar mais rápido ou mais devagar dependendo da interpretação do nosso cérebro a estímulos considerados agradáveis ou desagradáveis. Baseado nessa idéia, o engenheiro vislumbrou que a solução do problema estava em fornecer estímulos prazerosos às mulheres enquanto esperam o elevador. A resposta ficou simples quando se fez a seguinte pergunta: O que as mulheres podem fazer quando não estão fazendo nada e lhes é de alguma forma agradável ou necessária? Resposta dele: "arrumar-se na frente do espelho!".



Com esta tese, sem ainda comentar detalhes com o seu diretor, solicitou R\$1500.00 de material de consumo e a contratação de 8 horas de uma empreiteira terceirizada para fazer um teste. Mandou colocar espelhos em todo o saguão e solicitou a compra de três sofás confortáveis para serem colocados encostados à parede na frente dos elevadores.

Resultado: as reclamações pelo tempo de espera caíram para zero, inclusive às dos homens. O custo total da solução ficou em R\$4500,00 incluindo a compra de três sofás, no tempo de uma semana. A solução levou cinco dias de análise e um dia de implementação. De acordo com as manifestações dos usuários, o saguão ficou mais bonito, confortável e com aparência mais limpa e ampla. Alguns usuários disseram que achavam que os elevadores ficaram mais rápidos!(?).

Dois meses depois o engenheiro foi chamado pelo diretor para saber se ele já tinha analisado o problema. Ficou supresso ao saber que o problema nem mais existia, e maior supressa ainda foi conhecer os detalhes da solução e os valores gastos na mesma. A partir desse momento foi dada ordem de alteração do padrão do acabamento das construções feitas pela construtora para prever na decoração a colocação de espelhos, especialmente nos locais com fluxo de pessoas.

Você pode perceber através deste exemplo a importância da formulação correta do problema. Nem sempre o que o cliente relata como problema é o problema em si, e o engenheiro deve analisar os dados para fazer a formulação correta baseada nas informações disponíveis e na coleta de novas. Uma formulação equivocada do problema leva à solução errada. Depois do início de uma solução para um problema mal formulado, poderá não haver mais retorno.

3.3.4. Exemplo de Formulação 4 – A estória do Sorvete de Baunilha

Conta uma estória o relato de uma reclamação de um cliente que comprou um veículo de uma grande montadora estadunidense ainda na garantia: *“Quando volto de comprar ½ quilo de sorvete de baunilha o carro não pega de primeira. Comprando sorvete de chocolate ou de flocos o fato não acontece”*.

O relato do cliente descrevia que na compra de sorvete de chocolate ou flocos o fato não acontecia, sendo que nesses casos o carro não apresenta o mesmo problema. Mais, o cliente relata que o problema é repetitivo.

O veículo foi revisado pela assistência técnica e chegou-se à conclusão que o veículo estava perfeito funcionamento e se chegou a duvidar da saúde mental do cliente, até o dia que ele dirigiu-se até a concessionária, já bastante alterado,



exigindo a troca ou a devolução do seu dinheiro. Para tentar acalmar a ira do cliente, o diretor da concessionária solicitou a um dos mecânicos a irem com o cliente até a sorveteria para tentar observar o problema.

O mecânico foi dirigindo, o cliente desceu e foi comprar um sorvete de baunilha. Na volta, subiu no carro e o mecânico tentou dar partida, e nada...! O mecânico ficou impressionado, pois nunca tinha visto aquilo num veículo novo. Voltaram à concessionária e o diretor prometeu enviar o problema com prioridade máxima para os engenheiros da montadora.

Formulação X: “O carro não arranca de primeira quando se compra ½ quilo de sorvete de baunilha”.

Um dos engenheiros de projeto foi enviado à casa do cliente para verificar o problema do veículo. Ele pediu ao cliente para nessa tarde irem juntos e comprarem ½ quilo de sorvete de chocolate. O engenheiro foi dirigindo, parou na sorveteria. O cliente desceu e comprou ½ quilo de sorvete de chocolate. Ao fazer a partida, o carro arrancou de primeira. Agendou um novo teste para o dia seguinte, mas agora comprando sorvete de baunilha. No dia seguinte repetiu-se o processo, o cliente foi e comprou ½ quilo de sorvete de baunilha e na hora de dar a partida no carro para voltar e ... nada!. O motor de arranque girando e nada de dar a partida. Somente na segunda tentativa, o carro partiu normalmente. Parecia coisa de mandinga! Como formular corretamente um problema desses? A nova formulação ficou assim:

Formulação Y: “O veículo eventualmente não arranca de primeira”.

O engenheiro pediu uma semana ao cliente para discutir com a sua equipe de engenharia o problema. Num primeiro momento a equipe de engenharia tomou o problema como sendo uma piada, entretanto com uma análise mais aprofundada e diante da força da evidência e na existência de fatos repetitivos. A direção autorizou o estudo aprofundado do problema e em duas semanas começaram a surgir luzes sobre o problema.

Verificou-se que o sistema elétrico de arranque e injeção é padrão para várias marcas de automóveis e que o fabricante dos mesmos nunca tinha recebido reclamações deste tipo de falha. Então o problema somente podia ser no projeto da câmara de combustão, a qual era diferente das outras marcas. Chegou-se a uma outra formulação do problema:

Formulação Z: “Os gases da câmara de combustão não são dissipados de forma adequada ao desligar o motor”.



Pela análise se detectou que após desligar o motor, os gases não são dissipados de forma adequada e que dependendo do tempo da nova partida, esse gás frio remanescente pode interferir na ignição do novo combustível injetado. Os engenheiros verificaram que o sorvete de baunilha estava no ponto mais afastado do freezer da sorveteria, fazendo que o cliente demore 40 segundos a mais do que os outros dois sabores testados coincidindo com o ponto crítico entre a temperatura do gás remanescente e o seu volume não dissipado. A análise do problema resultou em alterações no projeto do motor e da programação dos sistemas de injeção.

3.3.5. Exemplo de Formulação 5 – A Fábrica de Interruptores Elétricos

A direção de uma empresa que produz interruptores elétricos tem que reduzir os seus elevados custos de manipulação e armazenamento dos produtos que fabrica e dedicou essa tarefa a um dos seus engenheiros. A Figura 3-3 mostra o layout inicial do acondicionamento e armazenamento das matérias primas e dos seus produtos.

É bastante comum ao tentar resolver este tipo de problemas querer aperfeiçoar a solução original, tentando mover máquinas, abrindo novos portões, colocando novas esteiras, definindo formas diferentes de montagem, transporte, testes e empacotamento. É exatamente isto que não deve ser feito!

No início deve se evitar entrar nos detalhes tentando definir questões mais amplas, do tipo: qual é o problema real? Não se pode resolver um problema que ainda não foi definido. O primeiro passo é a definição do problema na sua forma mais abrangente. Caso contrário você poderá tentar resolver um problema inexistente e as consequências disso podem ser catastróficas tanto para o engenheiro quanto para a empresa.

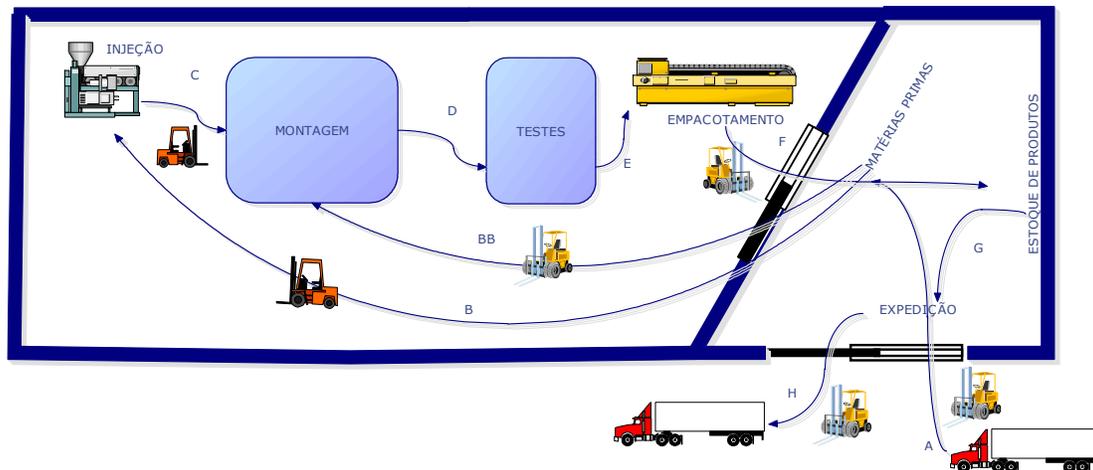


Figura 3-3 – Fábrica de Interruptores Elétricos

Você não pode esquecer que a formulação é a visão ampla do problema em questão, deixando de lado os detalhes e tentando identificar os estados EI e EF. É de principal importância que o engenheiro defina o problema da forma mais geral possível e que o faça logo de início evitando levar em consideração as possíveis soluções, durante esta fase. A seguir são listadas algumas formulações possíveis.

- α. Determinar a forma mais econômica de transportar, injetar, montar, testar e armazenar interruptores elétricos.
- β. Determinar a forma mais econômica de levar interruptores elétricos da célula de Montagem (Estado EI) até o Almojarifado (EF).
- χ. Determinar a forma mais econômica de levar os interruptores elétricos da célula de Montagem até o caminhão de entrega.
- δ. Determinar a forma mais econômica de levar os interruptores elétricos da célula de Montagem até o meio de entrega.
- ε. Determinar a forma mais econômica de levar os interruptores elétricos da célula de Montagem até os depósitos do consumidor.
- φ. Determinar a forma mais econômica de levar interruptores elétricos desde os fornecedores de matéria prima até os depósitos do consumidor.
- γ. Determinar a forma mais eficiente de fazer chegar interruptores elétricos do produtor para o consumidor.

O item **α** não é adequado, pois não há identificação dos estados inicial e final além de incluir detalhes condicionantes (transportar, injetar, montar...) do processo de fabricação, que nada mais fazem atrapalhar a visão mais ampla do problema.

Krick ^[11] observa que um erro freqüente na definição dos problemas é a aceitação de aspectos da solução atual considerados como inalteráveis e essenciais, impedindo a introdução de modificações potencialmente proveitosas. O engenheiro deve evitar cair neste tipo de erro.



As formulações β e η são aceitáveis porque identificam os estados EI e EF sem mencionar fatores condicionantes e detalhes desnecessários, entretanto essas formulações diferem entre si e podem levar a obter resultados muito diferentes, dependendo da amplitude da formulação.

As formulações β e χ podem presumir que no estado EF os interruptores já estejam encaixotados e a formulação δ somente se especifica o caminhão dando lugar a que os interruptores não estejam encaixotados. A formulação ϵ especifica somente “meio de entrega” abrindo possibilidades para outros meios de transporte. A generalização do problema deve ficar cada vez mais aberto para os estados EI e EF até que sejam especificados somente o produtor e o consumidor possibilitando uma grande variedade de alternativas de manipulação, formas de transporte, empacotamento, etc. A última formulação (η) possibilita que uma alternativa para o produto seja a simples importação, se isso for vantajoso para a companhia.

Você pode observar que quanto mais gerais forem as especificações para os estados EI e EF, mais alternativas ficam a disposição do engenheiro. A formulação deve ser tão geral quanto a importância do problema o justifique para poder aproveitar o maior número de possibilidades de ação e evitar especificações condicionantes indevidas nos estados EI e EF.

Veja por exemplo a formulação β onde o estado EF é definido injustificadamente pelo engenheiro, como consistindo em caixas empilhadas no almoxarifado sem perceber que ele mesmo limitou o leque de soluções possíveis, impedindo que se trabalhe sem estoque, por exemplo.

Nesta fase, quanto mais subdividido ficar o problema, menos eficaz será a solução geral. Se fossem considerados como problemas individuais a montagem, testes, empacotamento e transporte é provável que a solução finalmente adotada se afaste muito do ótimo. Entretanto, quanto mais ampla for a descrição do problema, o resultado será uma solução ótima e eficiente. Algumas das mais importantes contribuições da engenharia surgiram como resultados da formulação mais ampla de problemas que antes eram tratados de forma parcelada ^[11].

3.3.6. Com que Amplitude um Problema deve ser Formulado?

A formulação de um problema nada mais é do que a descrição de um ponto de vista de quem o percebe. Quando essa descrição é compartilhada com outras pessoas, novas descrições poderão surgir para o mesmo problema proveniente de outros pontos de vista. Quanto mais ampla a formulação do problema for, mais



fácil será convergir os diferentes pontos de vista e maiores serão as alternativas de solução.

Por isso o engenheiro deve se preocupar em criar formulações amplas que permitam o maior número de soluções possíveis. A busca de uma formulação ampla pode levar o engenheiro a ter que se confrontar com decisões já tomadas pelo cliente e a ter que “invadir” áreas de atribuição de outros membros da empresa. Nesses casos, o engenheiro terá que ser hábil para lidar com as pessoas, de forma que todos participem e se sintam responsáveis pela solução proposta. Caso contrário alguém na empresa irá se opor às soluções propostas tanto por simples caprichos, pré-conceitos e até ciúmes; dependendo da autoridade da pessoa ela poderá restringir fortemente as alternativas de solução impondo fatores condicionantes desnecessários.

Imagine o conflito interno de interesses para o engenheiro do exemplo 5 que escolheu a formulação mais ampla (“Determinar a forma mais eficiente de fazer chegar interruptores elétricos do produtor para o consumidor”) ao verificar que as células de Injeção e Montagem deveriam ser fechadas devido ao seu alto custo de operação, sendo a alternativa mais econômica a importação de produtos de fabricantes chineses.

O engenheiro deve tentar aplicar uma formulação ampla quanto for justificável e isso dependerá da importância do problema, do seu custo e do tempo de retorno do investimento.

3.3.7. Diferentes Formas de Formular um Problema

Os problemas de engenharia que resultam em produtos ou serviços podem ser também representados por meio das “caixas pretas” do capítulo 2.1, que é um método de representação diagramática. Este tipo de representação é adequado quando o problema geral não está bem definido, como é o caso de processamento das informações.

Os serviços prestados pelos bancos aos seus correntistas são exemplos de processamento de informações. Os bancos oferecem aos seus clientes serviços de consultas (saldos e extratos), transferências, pagamento de contas, etc. Existem várias formas de resolver esses problemas (necessidades): atendimento pessoal, internet, caixas eletrônicos, telefone celular, televisão interativa, correio, etc.

Quando o correntista precisar efetuar algum tipo de transação ele deve fornecer informações tais como número da agência e conta, além das “ n ” senhas de segurança constituindo a entrada de um sistema representado pela Figura 3-4. As

saídas do sistema também é um conjunto de informações no caso de consultas de saldos e extratos e até de objetos, no caso de retirar dinheiro ou talões de cheque.

Na fase da formulação não interessa o que tiver dentro da caixa preta, mas sim as variáveis de entrada e de saída desejadas (os estados inicial e final). A caixa preta é um método muito conveniente de discernir um problema, pois além de evitar entrar nos detalhes da solução serve para esclarecer o problema e esconder as soluções atuais e anteriores que podem inconscientemente limitar ou direcionar as alternativas de solução. Apesar de parecer simples demais este método se constitui uma das ferramentas mais eficientes para a formulação de problemas de engenharia.

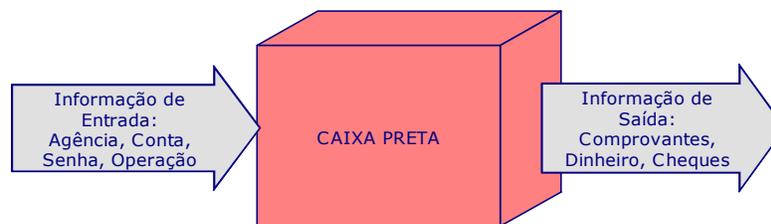


Figura 3-4 – Representação de um problema processamento de informações

3.3.8. Os Riscos

Em geral, é raro que o engenheiro receba como problema um risco a ser resolvido, mas sim o estado final desejado para alguma coisa, devendo o engenheiro determinar quais os riscos envolvidos nas possíveis transformações a partir do estado inicial. Frequentemente a natureza de um problema envolve uma montanha de dados irrelevantes, soluções presentes ineficazes, opiniões equivocadas e discernimento errado do verdadeiro problema.

Somado a isto, por questões “pedagógicas” nas escolas de engenharia os problemas são apresentados aos estudantes sob forma simplista e, portanto pouco realista, e não sendo devidamente estimulados a identificar e analisar problemas reais de engenharia e como consequência os engenheiros iniciantes podem ficar vulneráveis a correr maiores riscos.

Uma tendência dos engenheiros principiantes é o de tentar resolver problemas fictícios, ou seja, aqueles problemas que não são provenientes de necessidades reais. O engenheiro ^[11] que projetar uma peça supérflua ou uma operação que se possa prescindir completamente estará resolvendo um problema fictício. É como alguém projetar uma ponte onde não há rio esperando por uma inundação que nunca existiu. Um acontecimento desses pode levar ao descrédito do engenheiro e



por isso deve ser evitado a todo custo pela correta definição do problema como sendo a fase mais importante da solução.

Um outro risco é a tendência de confundir **problema** com **solução**. **A solução adotada no presente para resolver um determinado problema não pode ser confundida com o problema em si.** Esta afirmação parece ser muito óbvia para você? Pois bem, mas a tendência existe e acontece muito frequentemente. Por exemplo, quando se diz que os índices de marginalidade de uma grande metrópole estão aumentando, muitas pessoas confundem que o grande problema é a polícia(!). Embora possa haver problemas operacionais, a polícia é um dos instrumentos para solucionar o problema de segurança e não o problema em si. Mesmo assim, certos políticos insistem em que a polícia é o problema.

O outro dia achei um amigo irritado com o seu telefone celular. Perguntei a ele qual era o problema. *É o meu telefone celular que não funciona!* – respondeu. *Empresto-te o meu* – eu falei. Ao que me respondeu: *- obrigado, mas não resolve o problema.* Daí, eu fiquei curioso: *- mas qual é o problema?* Ele respondeu: *- que o meu telefone celular não funciona!*

Na realidade o telefone celular serve para resolver um problema simples: necessidade de comunicação! O problema do meu amigo podia ser resolvido pelo uso do meu telefone ou de um aparelho público, entretanto às vezes tendemos a complicar e mascarar as coisas mais simples levando-nos a uma confusão entre o problema e a solução. Se pudéssemos desenvolver técnicas para adquirir habilidades telepáticas os telefones celulares nem existiriam e o problema da comunicação à distância seria resolvido.

Existe uma diferença essencial, entretanto sutil, entre procurar defeitos e imperfeições de uma solução atual para um problema e recomeçar desde a definição básica do mesmo tentando uma solução superior. O engenheiro deve ser hábil para identificar essas diferenças e deixá-las de forma explícita. Imagine o projeto de uma máquina que efetue cálculos. Se você partir da seguinte formulação: “projetar um computador eletrônico mais rápido que um Pentium® IV”, você estará tentando “melhorar” os computadores eletrônicos existentes e assumindo que o Pentium® IV é o problema, pois ele não é tão rápido quanto se precisa. Não esqueça que o Pentium® foi projetado para resolver problema e não para ser o problema. Se no lugar daquela formulação você partir da seguinte: “projetar um sistema de computação mais rápido que os atuais” você abrirá espaço para outras soluções não eletrônicas, tais como computadores biológicos, ópticos e quânticos que poderiam ser mais rápidos ou eficientes.



3.3.9. Metodologia para Criar Árvores de Problemas

Um dos métodos que auxiliam na identificação dos problemas são os diagramas de Árvore de Problemas. A criação de uma árvore de problemas deve ser entendida como sendo um evento participativo. A sua preparação requer do uso de quadro-negro, folhas de papéis soltas ou cartões onde são escritos os enunciados dos problemas principais de forma que possam então ser organizados de forma visual em relações de causa-efeito. Podemos definir o processo em oito passos:

AP Passo 1: O objetivo inicial do primeiro passo é um brainstorming sobre os problemas que os interessados consideram ser prioritários. Este passo deve ser completamente aberto (sem preconceitos sobre o quê ou como os problemas/preocupações devam ser); ou mais direcionado, através da especificação do problema “conhecido” de ordem maior, baseado na análise preliminar da informação existente e nas consultas iniciais aos interessados (clientes ou usuários).

AP Passo 2: A partir dos problemas identificados do exercício de brainstorming selecionar um problema inicial para começar.

AP Passo 3: Procurar por problemas relacionados entre si a partir do problema inicial.

AP Passo 4: Começar a estabelecer hierarquias de causa-efeito. Problemas que são a causa direta do problema inicial são colocados abaixo. Problemas que tem efeitos diretos do problema inicial são colocados acima.

AP Passo 5: Todos os outros problemas são organizados da mesma forma. As questões principais é “O que causa isto?”. Se existirem duas ou mais causas combinadas para produzir um efeito, coloque-as no mesmo nível no diagrama.

AP Passo 6: Conectar os problemas com as setas causa-efeito, mostrando claramente as suas relações.

AP Passo 7: Revisar o diagrama e verificar a sua validade e nível de conclusão. Discuta no grupo a questão: existem problemas importantes que ainda não foram mencionados? Se a resposta for sim, especificar os problemas e incluí-los nos locais apropriados do diagrama.

AP Passo 8: Copiar o diagrama em uma folha de papel como registro, e distribuir ao grupo para posteriores comentários e informações.

A metodologia descrita acima também vale para a representação de diagramas de espinha de peixe. Um exemplo deste tipo de diagrama que analisa a deficiência de atendimento ao cliente, pode ser visto na Figura 3-5

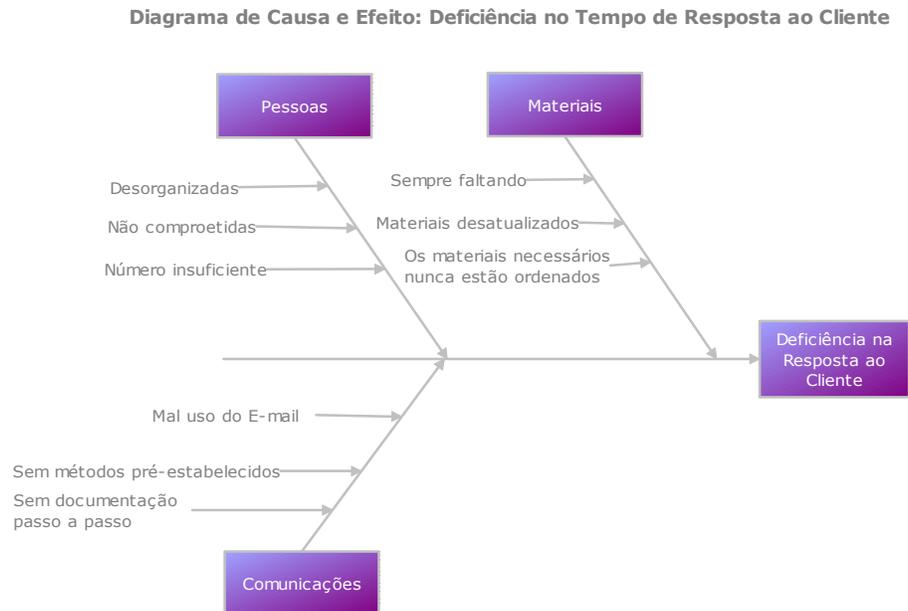


Figura 3-5 – Diagrama de espinha de peixe para analisar um problema organizacional

Comentários

A qualidade da saída será determinada pelas pessoas envolvidas na análise e nas habilidades dos facilitadores:

O envolvimento dos representantes dos interessados que tenham conhecimento e habilidades apropriadas é crítico

Uma apresentação dos trabalhos envolvendo grupos de até 25 pessoas é um fórum apropriado para desenvolver árvores de problemas, analisando os resultados e então propondo os seguintes passos.

Pode ser adequado estabelecer exercícios de análise de árvores de problemas em separado para cada grupo de interessados, para ajudar a determinar as diferentes perspectivas e conhecer melhor como variam as suas prioridades.

O processo é tão importante quanto o produto. O exercício deverá ser tratado como experiência de aprendizado para todos os envolvidos, e uma oportunidade para que sejam expressos os diferentes pontos de vista e interesses e;

O produto do exercício (a árvore de problemas) deve fornecer uma versão robusta e simplificada da realidade. Quanto mais complexa e complicada, menor será a sua utilidade.

Uma árvore de problemas não pode (e não deve) conter ou explicar as complexidades de cada relação identificável de causa-efeito.

Uma vez completada, a árvore de problemas representa um resumo de uma situação negativa existente. Dos muitos aspectos, a formulação dos problemas é o



estágio mais crítico do planejamento do projeto, já que ela guia toda a análise subsequente e as tomadas de decisão baseadas nas prioridades.

3.4. A Fase da Análise do Problema

Após a fase da formulação o processo de solução prossegue a fase da análise do problema. A fase da análise do problema junto com a formulação faz parte da definição do problema. Nesta fase o problema começa a ser aprofundado nos seus detalhes, definindo critérios e identificando os fatores condicionantes que possam influenciar na solução.

A maneira de exemplo considerar o caso de um fabricante de eletrodomésticos que se propõe a lançar ao mercado uma máquina de lavar roupas com a função de secagem. Além disso, foram especificadas outras características para o produto:

As dimensões da máquina não deverão exceder 75 cm de largura, 95 cm de altura e 75 cm de comprimento.

A máquina deverá funcionar com rede de tensão elétrica alternada de 127 volts e 60 Hz.

Deverão ser observadas as Normas Técnicas aplicáveis ao caso.

O custo de produção não deverá exceder US\$ 135

A máquina lavar tecidos de qualquer tipo, naturais ou artificiais.

A máquina deverá extrair 90% da umidade das roupas na função de secagem sem exceder os 40 minutos.

Depois de longas conversas com a direção da empresa e com especialistas em pesquisas de mercado consumidor, o engenheiro analisou o problema e o colocou na forma esquematizada da Figura 3-6. A análise comentada a seguir é representativa da metodologia que se recomenda para resolver todos os problemas de engenharia.

A formulação do problema pode ser pertinente identificar o estado EI como sendo roupas sujas e EF como sendo roupas limpas. Para poder continuar com a análise é necessário obter maior conhecimento desses dois estados, sendo este o objetivo desta fase. Nesta fase devem ser determinadas todas as características relevantes dos estados EI e EF de forma quantitativa e qualitativa.



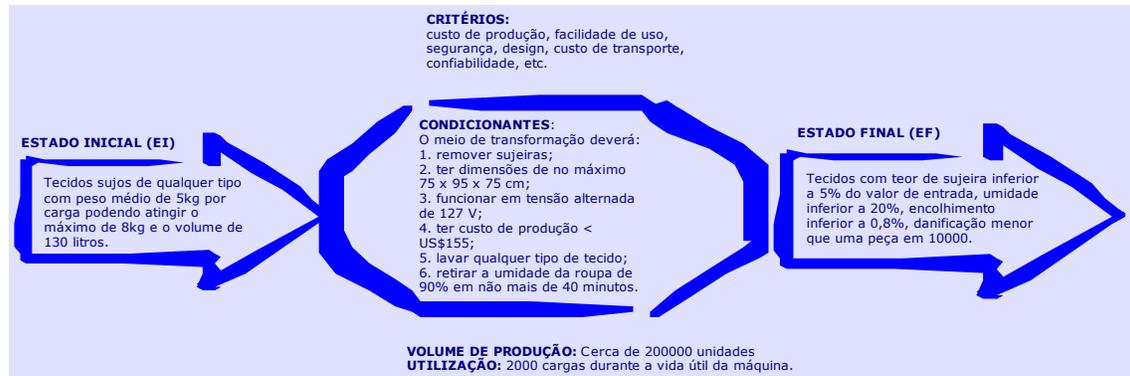


Figura 3-6 – Representação diagramática pela qual o engenheiro analisa o problema da máquina de lavar roupas.

A fase da análise envolve o estudo dos seguintes tópicos que serão tratados a seguir.

- a variabilidade das entradas e saídas;
- os fatores condicionantes;
- os critérios a serem usados;
- a utilização da solução e;
- a escala de produção.

3.4.1. As Variações das Entradas e Saídas

Como é comum nos problemas de engenharia, são poucas as características de entrada e saída que se mantenham inalteráveis. A massa das roupas a serem lavadas pode variar de zero a oito quilos, com tecidos diversos e propensão à retenção de umidade diferente, além de grau de sujeira que varia peça a peça. Este comportamento dinâmico dos estados EI e EF acontece também no problema de um veículo de passeio onde o desempenho varia de acordo com a marcha, com o número de pessoas no habitáculo, com a quantidade (que varia com o tempo) e até qualidade do combustível. De forma análoga há grandes variações nas entradas e saídas de sistemas tais como ruas, canais de comunicação da telefonia celular, nível de água nas barragens das usinas hidrelétricas e outros.

Assim, o engenheiro deverá coletar todas as informações possíveis sobre as variações esperadas (ou não) para as variáveis de entrada e definir as variações correspondentes esperadas nas variáveis de saída.

3.4.2. Os Fatores Condicionantes

Os fatores condicionantes, como o seu nome indica, são condições à qual a solução deve atender. A identificação e determinação dos fatores condicionantes impostos ao problema é também um dos objetivos da análise. Depois de



determinados os estados inicial e final como sendo roupas limpas e roupas sujas respectivamente, fica definida a primeira condição a ser satisfeita por quaisquer soluções possíveis será remover sujeiras.

Outros tipos de fatores condicionantes aparecem por comunicações da direção, dos clientes e outros, de natureza social, política, normativa, competitiva, religiosa, etc., como aquelas descritas na caixa preta da Figura 3-6.

A Região das Soluções

As possíveis soluções diferem entre si em vários aspectos e formas podendo variar as suas dimensões, massa, cor, materiais utilizados, custo e forma de operação. Essas características que podem diferir de uma solução para outra chamaremos de **variáveis da solução** e o valor de cada conjunto delas definirá uma das alternativas de solução. Podemos definir uma região de variação do espaço N -dimensional para N variáveis. Escolhendo até três dimensões, a representação gráfica desse espaço é relativamente simples. As representações gráficas com mais de três dimensões podem ser feitas em várias representações de três dimensões com a alteração de uma variável em cada gráfico.

Para visualizar o espaço permitido para os valores das variáveis da solução, podemos considerar três variáveis: altura, largura e profundidade, representada pelas letras **x**, **y** e **z** respectivamente. Os limites da variação dessas variáveis é um dos fatores condicionantes, representadas pelos valores máximos pré-estabelecidos, e indicados na Figura 3-7 pelas letras **a**, **b** e **c**. Esses limites máximos determinam a região das soluções que são aceitáveis. Os valores limites para essas variáveis são fatores condicionantes pré-estabelecidos que não podem ser alterados pelo engenheiro, assim como também são: o tipo de energia de alimentação (elétrica, 127 VAC/60Hz), secagem em no máximo 40 minutos e custo de produção menor que US\$ 155.

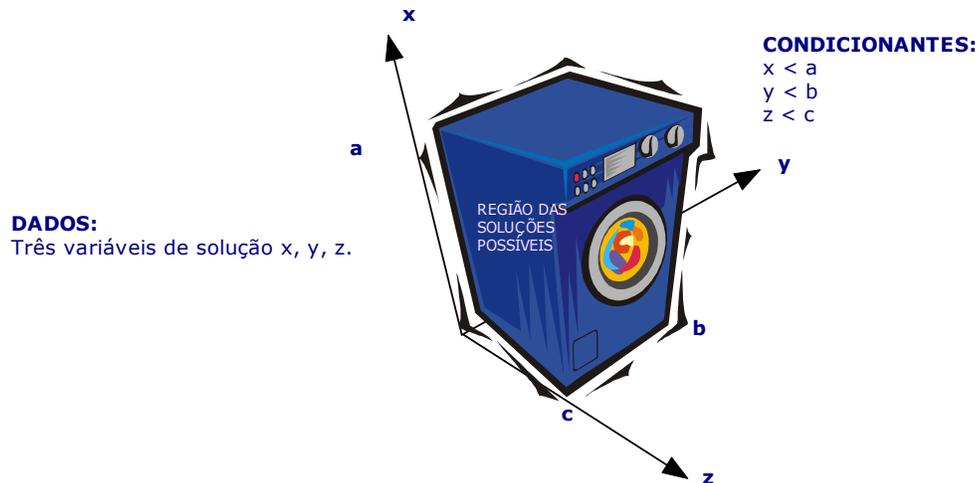


Figura 3-7 - Problema com três variáveis de solução, cada urna delas admitindo fatores condicionantes, representados no espaço tridimensional.

Conflitos entre Fatores Condicionantes

“O progresso da humanidade muito deve a engenheiros que deixaram de aceitar implicitamente como bons e irrevogáveis todos os fatores condicionantes.”

Edward V. Krick

Pode acontecer que o engenheiro após bastante estudo observe que lavar todos os tipos de tecidos de roupas, levaria os custos de desenvolvimento e produção acima do valor pré-estabelecido. Lavar 80% dos tecidos mais comuns é uma alternativa muito mais econômica e resulta em uma melhor relação custo-benefício para o consumidor. Nestas circunstâncias o engenheiro deverá tomar uma decisão: aceitar o fator condicionante, omiti-lo ou levar a informação para a que a direção da empresa reconsidere as definições iniciais.

Neste caso se observa um conflito de fatores condicionantes entre lavar 100% dos tipos de tecidos e o preço de produção inferior a US\$ 155. Se não der para satisfazer ambos os fatores condicionantes, deve se flexibilizar algum deles para alcançar uma solução satisfatória. Assim, é bastante comum na engenharia que vários fatores condicionantes não podem ser observados, especialmente quando se trata de fatores conflitantes tais como qualidade x custo, facilidade de uso x número de funções, potência x consumo, etc. Em geral as soluções de engenharia não alcançam o grau máximo de otimização. É bastante ingênuo acreditar que se possam alcançar soluções 100% ótimas.

A impossibilidade de alcançar o grau máximo de otimização é inevitável na solução dos problemas de engenharia devido a vários fatores como o elevado número de variáveis, tempo escasso para a tomada de decisões, conhecimento limitado dos materiais e das técnicas, pouca experiência no caso particular,



interferência prejudicial de membros das empresas, conflitos de interesses políticos, econômicos, sociais e religiosos. Por causa disso, o engenheiro sempre deverá verificar que alguns dos fatores condicionantes não poderão ser satisfeitos a custos de um custo muito elevado, ou do aumento das dimensões físicas, por exemplo.

O engenheiro deverá ser hábil em demonstrar aos seus clientes as vantagens e desvantagens da observação (ou não) dos fatores condicionantes pré-estabelecidos que resultem por consenso na alteração desses fatores. Não é aconselhável que o engenheiro aceite automaticamente como fatores condicionantes todas as decisões que lhe forem apresentadas, devendo haver sempre lugar para reflexões sobre as vantagens e desvantagens associadas.

Os Fatores Condicionantes Fictícios

Um fator condicionante fictício é um fator criado por uma decisão implícita (geralmente irreflexiva, automática e às vezes até inconsciente), que pode limitar fortemente uma solução eficiente. Esses surgem normalmente como um ato automático e sem justificativa, são como sombras ou pontos cegos no nosso campo de idéias.

Na formulação do problema da fábrica de interruptores, muitos pressupõem que esses produtos devem ser encaixotados, mesmo que ninguém tenha definido isso. Quando os fatores condicionantes fictícios forem de origem inconsciente constitui um grande perigo para o sucesso de soluções inovadoras e eficientes. Quando alguns fatores condicionantes fictícios são formulados fica logo em evidencia a sua natureza limitante. No exemplo

Muitas pessoas conseguem se atralhar com muita facilidade em fatores condicionantes fictícios. O engenheiro de sucesso deve evitar esta tendência formulando e analisando cuidadosamente os problemas, as suas suposições e preconceitos pessoais. Uma vez livre desses dois últimos, abre-se um vasto campo de alternativas para soluções realmente eficientes e eficazes.

Os Critérios

A escolha da melhor solução está baseada nos critérios estabelecidos nesta fase. Por exemplo, se no exemplo da fábrica de interruptores uma das políticas da empresa é a manutenção e aperfeiçoamento dos seus recursos humanos, provavelmente a solução de terceirizar a montagem não seria a mais adequada. Entretanto, se a manutenção dos seus clientes e a expansão das vendas for o objetivo a terceirização ou importação pode ser a melhor solução.



Um dos critérios bastante utilizado é o da qualidade. “A *qualidade*¹⁸ de um produto ou serviço é definida como sendo uma propriedade, atributo ou condição das coisas capaz de distingui-las umas das outras e de lhes determinar a natureza”. Você pode observar da definição que um produto de qualidade não identifica plenamente o seu valor, a sua confiabilidade ou a sua utilidade. Para definir a qualidade de um produto ainda é necessário o uso de um adjetivo qualificativo para definir o tipo de qualidade: boa, excelente, ruim, muito ruim. Para um produto ou serviço ter qualidade somente precisa ter os seus resultados levemente repetitivos de forma que possa ser comparado com relação a um padrão. Em geral todos os processos de produção em série possuem qualidade. Muitos deles, qualidade muito ruim. Definir um produto como sendo de “qualidade” não garante que ele seja de “boa qualidade”, mas somente que ele pode ser comparado. Você pode trabalhar numa empresa com certificação internacional de qualidade mesmo produzindo produtos de “baixa qualidade”.

Uma empresa pode ter como objetivo a produção de produtos e serviços de boa qualidade, por outro lado, ela pode optar por produtos e serviços de “qualidade ruim” se assim o quiser. Quando o problema for de ordem econômica, geralmente os clientes preferem “qualidade ruim”, entretanto quando o problema é segurança das pessoas prefere-se a “qualidade excelente”. Para cada nível de qualidade os custos crescem de forma proporcional. Por exemplo, uma ponteira de homocinética de um automóvel popular custa em torno de R\$150; e a de um não-popular, em torno de R\$1000. O formato é o mesmo; então qual a diferença? Resposta: o nível da qualidade. Enquanto uma resiste quatro anos, e corre o risco de se romper, a outra resiste dez e não corre o risco de se romper. Você conhece algum idoso que tenha quebrado a o osso na articulação da bacia? Pois bem, uma prótese de R\$1500 deve ser substituída em quatro anos (nova cirurgia). Uma prótese de “alta qualidade” custa R\$6000 e somente precisa ser substituída em quinze anos.

Os tipos de soluções a serem selecionadas como alternativas dependem da importância que é dada a cada critério e, portanto estes devem ficar bem definidos antes de passar à próxima fase.

A Utilização da Solução e a Escala de Produção

Um fator importante a ser levado em consideração na fase de análise é como, com que duração e quantas vezes a solução será utilizada. Um foguete para a propulsão de uma nave espacial lunar do tipo Saturno V serve para uma única

¹⁸ Qualidade: do latim *qualitate*.



utilização. Entretanto os foguetes que impulsionam os ônibus espaciais são recicláveis e os ônibus espaciais em si são reutilizáveis. Obviamente o tipo de utilização da solução define os critérios.

Se um grupo de dezenas pessoas precisarem atravessar um rio com seus automóveis por dia, a solução que minimiza o custo total provavelmente será um serviço de lancha. Se os mesmos precisarem atravessar com os seus carros e caminhões, provavelmente um serviço de balsa seria a solução adequada. Agora, no caso em que o fluxo envolva centenas ou milhares de pessoas, carros, trens e caminhões, a solução mais econômica provavelmente será uma ponte. O número de vezes em que a transformação dos estados inicial e final em que se repetirá é o fator mais importante quando a preocupação é o custo total¹⁹.

Para produções repetitivas em grande escala se prefere os sistemas automáticos de produção ao manual, mesmo que isso represente um investimento inicial maior, porque esse custo é compensado pela maior eficiência da produção.

No caso de uma fábrica de interruptores elétricos, a solução dos mecanismos seria bem diferente se eles não tivessem que atender a normas que obrigam a agüentar milhares de operações e altas correntes sem apresentar falha. Por isso, o projetista desse tipo de solução deverá estudar profundamente os mecanismos físicos e químicos envolvidos nesse tipo de solução para alcançar a solução ótima (neste caso, atendimento às normas).

Por causa disso é importante que a utilização da solução seja estimada com a maior exatidão possível durante a fase de análise do problema, pois este dado ajuda o engenheiro a definir quais alternativas de solução poderão ser as mais adequadas, permitindo tomar as decisões racionais no que se refere aos recursos mínimos necessários para se encarar o problema.

A Escala de Produção

O último fator importante a ser levado em consideração na fase de análise é a escala de produção. Lembrando o problema da solução da máquina de lavar roupas, suponha que devam ser fabricadas somente quatro unidades. Nestas condições não interessa muito ao engenheiro o método de fabricação. Não haverá muitos problemas no caso em que forem especificadas peças não padronizadas e caras ou usados métodos manuais de fabricação e montagem individual quando forem poucas unidades. Entretanto, a produção de 200000 unidades é um quadro totalmente diferente, pois nesse caso o engenheiro estará profundamente

¹⁹ Isto é, o custo de encontrar a solução, mais o custo de materializá-la, mais o custo de utilizá-la.



preocupado pela forma nas quais os diferentes sistemas que implementam a solução final influenciarão no custo final de cada unidade.

Cada elemento da solução de uma produção em escala possui as suas variações e tolerâncias que com a operação e o tempo resultam em variações nas variáveis de saída dos produtos. No exemplo do fabricante de máquinas de lavar roupas, os fatores condicionantes de 2000 cargas sem falha numa produção de 200000 unidades podem afetar decisivamente o tipo de solução que será ótima para resolver o problema. Quando o engenheiro prever a utilização da sua solução em sistemas de produção em grande escala, deve estabelecer estimativas de tendências, tolerâncias, e outras variáveis pertinentes que possam desviar os resultados da sua solução.

3.5. A Fase da Pesquisa por Soluções

Depois de obter uma formulação adequada, ter definido os fatores condicionantes e critérios passa-se à próxima fase: a pesquisa. O objetivo desta fase é a busca das soluções possíveis para o problema.

Esta fase dificilmente resulta no descobrimento da melhor solução, mas sim em um conjunto de soluções parciais relativas a uma ou mais partes componentes da solução completa. No exemplo do fabricante de máquinas de lavar roupas, o engenheiro pode achar possíveis soluções para o subsistema de lavagem e outras bem diferentes para o subsistema de secagem. As soluções possíveis para o subsistema de lavagem podem usar tambores rotatórios verticais ou horizontais, ultra-sons, fricção linear, eletrólise, sabão líquido ou em pó, produtos químicos, água quente, vapor de água, etc. As soluções do subsistema de secagem podem incluir resistências elétricas, compressores de ar, ventiladores, coletores solares e outros sistemas de aquecimento. As soluções para o chassi podem incluir o uso de materiais metálicos, plásticos cerâmicos ou compósitos e as geometrias podem ser na forma de paralelepípedos, cilíndricas e outras. Todas essas soluções são parciais, sendo que algumas podem ser convenientemente combinadas entre si e outras não.

O acúmulo de grande quantidade de informação técnica não serve para muita coisa para o engenheiro a não ser que ele saiba usá-lo de forma produtiva. O resultado produtivo é aquele que cria máquinas, estruturas, dispositivos, processos, sistemas e serviços





para resolver as necessidades da sociedade. A engenharia é uma profissão basicamente criadora e por isso, o engenheiro tem meditado e estudado sobre a inventividade e criatividade e tem se esforçado para desenvolver as suas atividades criativas.

Às vezes a solução de um problema vem à cabeça do engenheiro de repente. Se a nossa mente funciona dessa maneira, por que ignorar a solução gerada por ela de forma subconsciente? Resposta: pelas grandes responsabilidades envolvidas e confiadas ao engenheiro ele não pode correr o risco de achar que a primeira solução que lhe ocorreu na cabeça é a mais adequada. Ele precisa analisar várias soluções possíveis através da busca deliberada e consciente e para isso depois de definir o problema, deve centrar todos os seus esforços na realização real e eficaz pelas várias soluções.

De onde vêm as soluções? Resposta: Uma fonte são os registros do conhecimento humano que está armazenado nos livros, nas revistas, nos manuais, meios digitais e a sua própria memória. Toda essa informação apresenta soluções já trabalhadas de algumas partes da maioria dos problemas. A busca destas soluções não são um problema pois somente consiste em ler os livros e as revistas. Porém existe uma segunda fonte de soluções, que são as próprias idéias que resultam de um processo mental chamado de inventividade. O engenheiro terá que recorrer a esse recurso interno para resolver os problemas de engenharia que não estão resolvidos nos livros e nem nos artigos técnicos e científicos. Lamentavelmente inventar soluções não é tão simples e controlável quanto buscar soluções que já existem. Portanto, é importante que o engenheiro dedique atenção especial para desenvolver e melhorar a sua capacidade inventiva.

3.5.1. O Fator Criativo - A Inventividade

A inventividade é definida como sendo a qualidade ou faculdade de inventar, de criar e de inovar. Os seres humanos são inventivos por natureza, e quanto mais eles praticam essa habilidade mais a sua capacidade de resolver problemas se desenvolve. A inventividade do engenheiro é uma fonte vasta de idéias de boa qualidade para a solução de problemas. Alguns fatores que podem influenciar na inventividade de uma pessoa podem ser os seguintes ^[11]: conhecimento, atitude, aptidão e o método.

O conhecimento:

As informações permitem originar idéias. Uma idéia são dois ou mais fragmentos de conhecimentos combinados de uma maneira nova. A mente deverá



possuir aqueles conhecimentos fragmentados, pois uma idéia não pode surgir do nada. Quanto maior o acervo de conhecimentos, maior é a "matéria-prima" para originar soluções. O conhecimento é adquirido pela leitura, audição, escrita e por outras experiências prática em geral e pelo processamento de informações anteriores.

A atitude:

É a maneira de agir e reagir. Qualquer pessoa tem inventiva suficiente para se tornar um bom engenheiro, mesmo que você conheça pessoas que parecem ser "fora de série". Há pessoas que parecem ter nascido com habilidades inventivas inatas. Isto na realidade não é assim. O que acontece é que algumas pessoas foram mais bem estimuladas quando pequenas do que as outras. Qualquer pessoa pode ser excepcionalmente criadora simplesmente pela sua atitude, uso e aquisição dos seus conhecimentos e aplicação dos seus métodos, porque trabalha duramente ou desenvolveu esses fatores, e não por ter uma vantagem genética. Deve se ter especial cuidado em tentar achar todas as soluções possíveis para um determinado problema, neste caso o seu tempo acabará e o seu trabalho ficará improdutivo. Tem que saber quando parar para proceder a avaliação das soluções possíveis pesquisadas até o momento e se preocupar agora com os subproblemas decorrentes das soluções escolhidas enquanto ainda há tempo.

A aptidão:

São as qualidades de um ser humano que lhe ajudam a realizar coisas e lhe dá capacidade de criação. Ela pode ser inata ou adquirida. No caso da aptidão adquirida, quanto maior for a atividade mental de gerar idéias, maior será a capacidade de gerar soluções inovadoras e de tomar as decisões mais corretas.

O método utilizado:

É o modo particular adotado para originar e organizar idéias. Por exemplo, o tipo de método de pesquisa, o processo seguido na solução dos problemas, etc.

A inventividade do engenheiro depende do conhecimento armazenado, da aptidão - inata ou adquirida - e do método utilizado. Assim, o engenheiro que tiver pouca aptidão criadora inata poderá compensar com esforço para obter novos conhecimentos e habilidades e pela utilização de um bom método de trabalho.

As idéias são processos abstratos de informação que podem resultar em ações. Os engenheiros gostam de gráficos e diagramas e assim podemos tentar usar diagramas para discutir assuntos abstratos no campo das idéias com o objetivo de



destacar alguns riscos e dificuldades dos processos mentais da busca de soluções a problemas de engenharia.

Para ilustrar algumas dificuldades, tropeços e falhas nos procedimentos²⁰ que os engenheiros podem sofrer no processo da busca de soluções. Visualize a Figura 3-8 que é uma representação gráfica de um campo de idéias de solução limitado por fronteiras reais e fictícias. Os pontos circulares são as idéias e as distâncias entre elas representam a sua diversidade, i.e., quanto mais perto, mais parecidas serão as idéias de solução e, ao contrário, quanto mais afastadas, maior a diferença entre elas. Observe que forma definidas três áreas que são as idéias limitadas pelos fatores condicionantes, os fictícios, os do conhecimento pessoal e os reais. É dentro dessas três áreas que estão a totalidade das soluções a serem conseguidas. A fronteira dos conhecimentos pessoais pode ser ampliada com bastante estudo e a das condicionantes fictícias, reduzida e “sincronizada” com a área dos fatores condicionantes reais mediante muita análise e “mente aberta”. Entretanto, a nossa tendência natural não se comporta bem assim.

A tendência natural é a de procurar por uma solução anterior que se “encaixe” no problema atual (ponto **SA** – Solução Atual) e procurar uma solução o mais próxima possível e que se encaixe dentro da área dos fatores condicionantes fictícios e do conhecimento pessoal. Como você pode perceber geralmente a idéia de solução já começa “viciada”, especialmente por aquelas soluções antigas às quais o engenheiro já está acostumado e que possui uma longa história de utilização. Sempre aparece uma incrível resistência a começar a solução por outro caminho bem longe de **SA**, e os pulos de diversidade de uma idéia para outra, geralmente são muito pequenos, pois é natural querer acertar a solução na primeira tentativa e por isso as soluções atuais têm grande poder de atração. O pior é que as idéias de solução subseqüentes tendem a se concentrar em torno da solução conhecida, e às vezes acontece o pior, que é a adoção da solução atual maquiada! Este procedimento de busca de soluções é ineficiente, regressiva e geralmente com falta de direção.

Um exemplo são os telefones celulares atuais, onde as diferenças entre as mais diversas marcas são praticamente nulas, com exceção de uma determinada marca que fabrica equipamentos sem display e nem teclado (fatores condicionantes fictícios – um aparelho telefônico tem como objetivo permitir a comunicação oral, sem precisar de teclado e nem display).

²⁰ Adaptado de Krick [11].



Um outro exemplo são os meios de transporte aéreos. No início a solução observada provinha do estudo do movimento das aves. Os primeiros intentos foram no sentido de construir mecanismos que batiam as asas, pois era a idéia mais parecida com solução atual do problema (**SA**). Acreditava-se que o problema estava em fazer as asas baterem (formulação equivocada) e como todos sabem essa idéia fracassou. Com o tempo, o ser humano liberou-se do conceito que lhe era familiar e que estava atrapalhando a solução do problema.

É importante ressaltar a diferença entre procurar pela melhor solução para o problema e procurar modificações da solução atual. A procura pela melhor solução não deve ter ponto de partida, mas sim pontos esporádicos de preferência radicalmente diferentes.

Um outro fator que tende à concentração de idéias em torno de soluções atuais é o excesso de conservadorismo combinado com a suposição de que grandes investimentos iniciais para a solução são indesejáveis e proibitivos (fatores condicionantes fictícios).

Mas, o que um engenheiro pode fazer para melhorar a sua inventividade na solução de um problema específico? Podemos citar duas linhas de ação: maximizar a variedade e número de idéias alternativas e depois experimentar cada uma delas.

Para maximizar a variedade e número de alternativas deve se fazer um esforço mental para aumentar as fronteiras que restringem o número de idéias tentando sincronizar a fronteira dos fatores condicionantes fictícios com a fronteira dos fatores reais e aumentando os seus conhecimentos pessoais. É óbvio que o engenheiro deve dominar perfeitamente os princípios e as práticas da sua especialidade, porém além desses fundamentos deverá adquirir novos conhecimentos relativos ao problema específico e aos relacionados

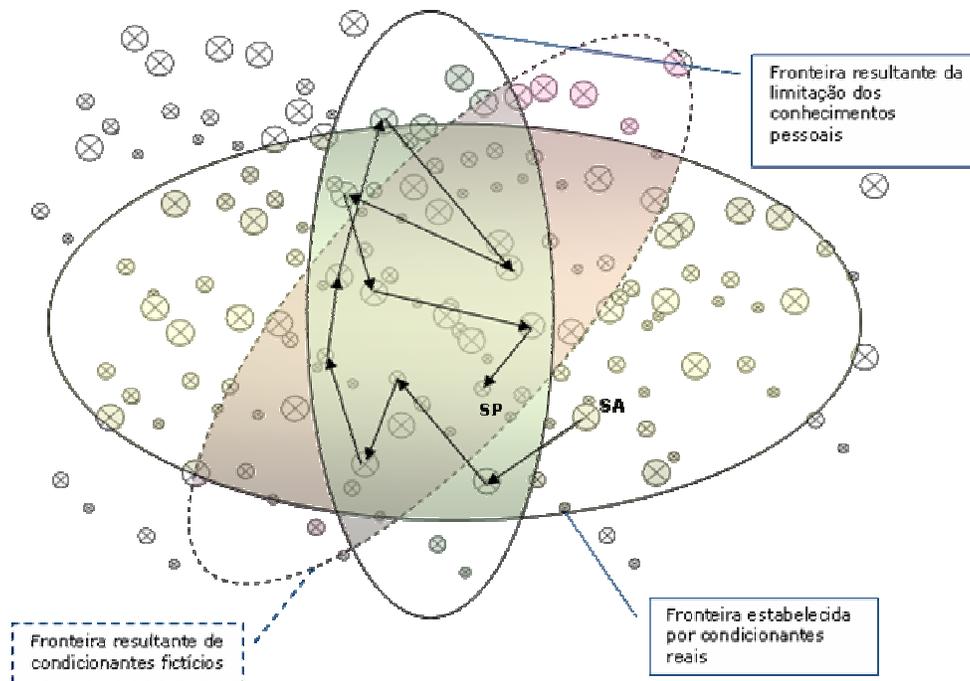


Figura 3-8 - Espaço de solução ilustrando o modo pelo qual o engenheiro tende a proceder²¹.

Uma vez havendo maximizada a área das idéias onde poderá obter soluções, o engenheiro deverá aproveitar plenamente o conjunto e ao invés de procurar soluções a partir de alguma conhecida, ele deverá experimentar todas as alternativas com perspectivas de resultar em soluções ótimas. Neste instante deve se ter o cuidado de que a procura não esteja sendo feita a esmo. Para reduzir o caráter aleatório que possa acontecer nessa busca devem ser tomadas como base à utilização da solução, a escala da produção e a aplicação dos critérios escolhidos, deve se sistematizar a pesquisa e devem ser usados procedimentos matemáticos e gráficos que facilitem a escolha da solução ótima.

A utilização da solução, o volume da produção e os critérios relativos servem para orientar o engenheiro na localização geral das regiões que possam conter a solução ótima, como no exemplo do rio, onde deve ser considerada a construção de uma ponte ou de um serviço de balsa. No caso dos veículos de passeio, um critério pode ser o custo, a segurança ou a preservação ambiental.

Existem formas sistemáticas de tornar o processo menos aleatório adotando medidas que organizem a busca. Isto se torna especialmente útil quando deve ser levada em consideração uma grande variedade de soluções essencialmente diversas. Por exemplo, no caso do problema da máquina de lavar roupas o engenheiro pode subdividir o problema de em processos necessários ou

²¹ Adaptado de Krick [11]. SA: Solução Atual. SP: Solução Proposta.



subproblemas, como por exemplo: processos de inserção da roupa, inserção de aditivos de limpeza, de programação da operação, de lavagem, de secagem, de extração da roupa, de energização, de fixação e de segurança. A representação gráfica pode ser na forma de uma árvore de alternativas mostrada na Figura 3-9.

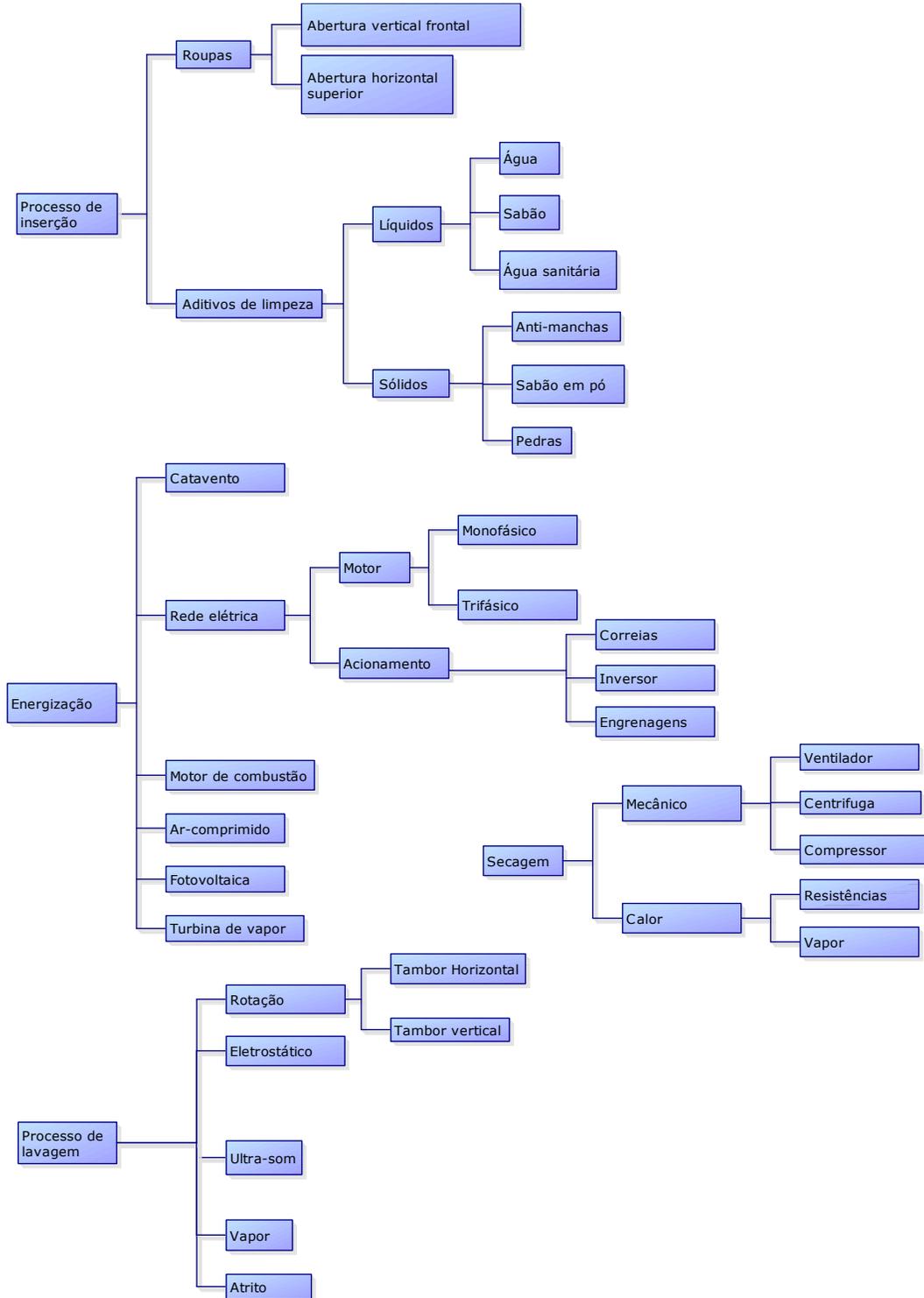


Figura 3-9 – Organização de idéias na forma de árvore de alternativas.



O primeiro passo é o de preencher os galhos das árvores com o maior número de soluções possíveis. Alguns galhos poderão ser “podados” pelos requisitos dos fatores condicionantes. A partir da árvore de alternativas o engenheiro pode se “servir” a vontade para montar a sua salada de soluções parciais e construir conjuntos de possíveis soluções completas para posterior avaliação mais detalhada e seleção.

Existem obviamente numerosas combinações de solução possíveis e também novas variáveis a identificar, que devem ser inserida na análise e na pesquisa a medida que forem aparecendo.

Um outro meio de orientar à pesquisa no espaço de soluções é usando ferramentas matemáticas e gráficas de variáveis que auxiliem a localizar as soluções ótimas de forma quantitativa. Este tipo de procedimento é o mais praticado durante os cursos de engenharia requerendo a aplicação da matemática e cálculo avançado.

Algumas atitudes positivas colocadas a seguir²² podem ser bastante úteis para originar novas idéias.

Exerça todo o esforço necessário. Não se atinge o poder criador sem esforço mental. Não há pessoas realmente criadoras que não sejam também trabalhadoras, ativas ou entusiásticas. Atribuem a Albert Einstein

Não se emaranhe prematuramente nos detalhes. Quando isto acontece torna-se difícil originar idéias radicalmente diferentes. É preciso pensar inicialmente em termos amplos, concentrando em soluções gerais e deixando para mais tarde as particularidades. Qualquer tentativa de começar imediatamente os detalhes da primeira “boa” idéia surgida prejudicará a capacidade de pensar de forma diferenciada. Se durante a implementação dessa solução aparecer uma outra mais eficiente, poderá não haver mais caminho de retorno para redirecionar à solução para esta última.

Adote uma atitude inquisitiva. O uso insistente da simples mas poderosa pergunta “por quê?” é particularmente útil. A indagação dos objetivos básicos do problema, as características das soluções existentes, as propostas e os tão famosos “fatos”.

Procure muitas alternativas. O objetivo inicial deverá ser reunir tantas alternativas quanto possível. A maximização de idéias resultará automaticamente no aumento do número e da variedade das soluções possíveis.

Evite ser conservador. Não fuja das idéias radicalmente diferentes. Quando se consegue dar um grande salto no espaço das idéias da Figura 3-8, a tendência é recuar logo temerosamente. Parece natural a preferência por idéias já comprovadas pela experiência, que inspirem confiança pelo seu comportamento satisfatório. Existe uma tendência ao excessivo conservadorismo nesse aspecto e a reprimir idéias valiosas, mesmo que estas representem poucos riscos.

Evite a rejeição prematura. Não se apresse a rejeitar possibilidades. Algumas idéias podem parecer no início como sendo inúteis e até absurdas, é natural a

²² Adaptado de Krick [11].



tendência a desprezá-las imediatamente, fato que pode resultar na perda de algumas possibilidades realmente valiosas. Aquilo que em um dado momento parece uma idéia inútil poderá se revelar, um pouco mais tarde, em consequência de alguma pequena alteração, uma excelente solução. Uma característica do bom engenheiro é a sua persistência em dar oportunidades razoáveis a novas idéias que sejam radicalmente inovadoras.

Evite a satisfação prematura. Não ceda à tentação de satisfazer-se com a primeira "boa" idéia, ou com a primeira que aparentar ser um aperfeiçoamento apreciável da solução existente se ainda houver tempo para continuar pesquisando. É fácil ficar ofuscado pela primeira idéia "brilhante" e então cessar a busca de outras possibilidades. A suposição da existência de outras soluções, melhores do que as conhecidas até então, constitui uma excelente prática.

Procure usar analogias. Tente raciocinar em termos de problemas análogos, sob situações muito diversas. Se o problema for relativo à propulsão de um navio na água, pode-se estudar o movimento dos peixes e o comportamento da água.

Consulte outras pessoas. Procure informações e sugestões de engenheiros, vendedores, clientes, técnicos e outros. Tais conversações não só têm o efeito direto de aumentar os conhecimentos do engenheiro, como também estimulam suas idéias.

Tente dissociar o pensamento da solução atual. Não é fácil libertar o pensamento da solução adotada para o problema, pois esta geralmente cria um formidável obstáculo mental. Não obstante, com alguma disciplina mental, é possível originar idéias diferentes e valiosas.

Mantenha-se consciente das limitações mentais. Mantendo-se sempre alerta para com as tendências a impor condicionantes fictícias, efetuar comparações prematuras e o excessivo conservadorismo, terá dado um grande passo no sentido de superar as tendências que prejudicam a sua inventividade.

Existe também uma outra forma sistemática, porém mais aleatória, de geração de novas idéias que consiste em uma atividade participativa de quatro ou mais pessoas, com o fim específico de originar idéias sobre um problema durante o período de 30 minutos a uma hora. O procedimento é chamado de **brainstorming** ou Tempestade de Idéias. As idéias apresentadas são registradas em um quadro-negro e mantidas à vista de todos. Estimula-se a apresentação do maior número possível de idéias, entretanto, procura-se neste período evitar a avaliação de seus méritos. Todas as idéias são aceitas mesmo aquelas que no momento pareçam ridículas.

O brainstorming é muito útil por causa da ação recíproca entre pessoas com diferentes níveis de conhecimento, diferentes pontos de vista e também porque o rápido fluxo de idéias está constantemente orientando o raciocínio de cada participante de forma diferente. Esta técnica pode originar grande número de idéias quando os participantes a ela se dedicam com entusiasmo. Os resultados obtidos daquelas pessoas estranhas ao problema são máximos quando se começa por uma formulação genérica, seguida por outras cada vez mais específicas.



Esta é uma prática muito proveitosa, pois um projeto pode beneficiar-se das idéias de numerosos engenheiros e outros profissionais sem tomar muito do seu tempo.

3.5.2. A Importância da Simplicidade

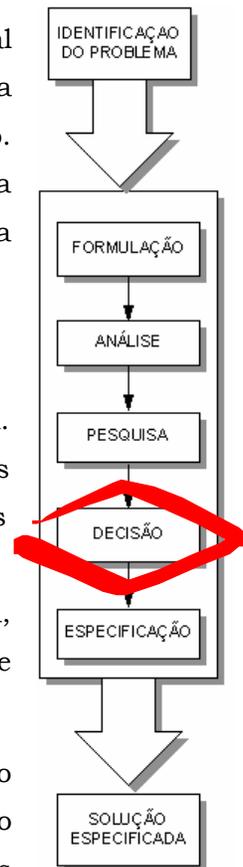
Das várias soluções possíveis para qualquer problema de engenharia, algumas são relativamente complexas e outras são incrivelmente simples, mas nem por isso são menos eficazes. Como regra geral, as idéias simples possibilitam soluções mais econômicas, confiáveis, robustas e fáceis de usar. Por esses motivos os bons engenheiros tentam simplificar quanto possível os seus circuitos, mecanismos, processos e todos os aspectos das soluções que apresenta. A simplicidade de muitas dessas soluções em geral não dá idéia dos conhecimentos, habilidades e esforços que exigiram.

Conta uma estória de engenharia que a agencia espacial estadunidense gastou centenas de milhares de dólares para desenvolver uma caneta que escreve em ambientes de gravidade zero. No entanto, a então agencia espacial soviética resolveu o problema com uma solução mais simples, usando um dispositivo que permitia escrever em ambiente de gravidade zero: o lápis.

3.6. A Fase da Decisão

A fase da pesquisa é uma atividade eminentemente criadora. Entretanto a fase da decisão é eminentemente seletiva. Nesta fase as soluções alternativas raramente estão especificadas em detalhe, pois geralmente é possível avaliá-las sem necessidade de detalhamento. Muitas das possíveis soluções são especificadas sob forma abreviada, deixando-se os detalhes para mais tarde, caso o seu mérito justifique o esforço.

Durante a fase da pesquisa, o engenheiro vai aumentando o número e a variedade de alternativas, como se vê na Figura 3-10. Ao término dessa expansão, é necessário um processo de eliminação das idéias consideradas inferiores. É na fase da decisão, que o engenheiro comparará as alternativas, baseado nos fatores condicionantes e nos critérios definidos para cada combinação de possíveis soluções eliminando as consideradas inferiores até sintetizar a solução completa que represente a combinação mais favorável de soluções parciais. Assim, o projetista da máquina de lavar roupas fará a comparação entre os diferentes meios de obter o efeito de limpeza, os diversos



mecanismos de sincronização e as combinações dessas possibilidades, continuando este processo de avaliação o combinação até surgir a melhor solução para o problema.

Desde o princípio, qualquer solução aceitável tem que ser especificada apenas em termos gerais e genéricos através da forma de frases curtas ou diagramas. Os detalhes das soluções alternativas não devem especificar detalhes maiores do que os necessários para a seleção porque a maioria delas será descartada, tornando prejudicial o detalhamento exaustivo de cada uma delas mais do que o necessário.

Após a eliminação das alternativas consideradas inferiores, começa o processo de detalhamento um pouco mais aprofundado das alternativas restantes, que deverão ser avaliadas por meios mais seletivos. Este processo se desenvolve em vários estágios caracterizados pela gradual eliminação de alternativas e pelo detalhamento crescente sobre a natureza e desempenho das soluções restantes, até o surgimento da solução considerada como sendo mais adequada. A combinação e recombinação das soluções parciais são atividades inerentes a esta fase.

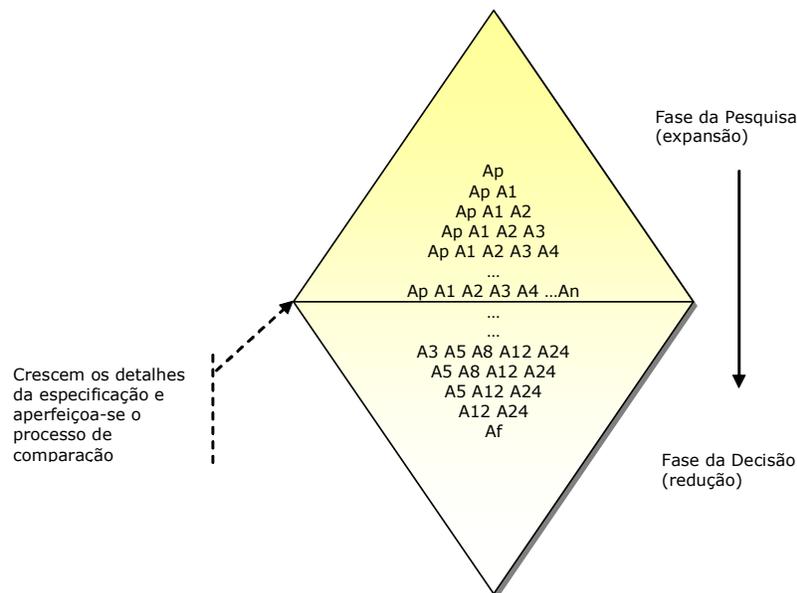


Figura 3-10 - Diagrama das fases da pesquisa e decisão²³.

3.6.1. O Procedimento Geral da Toma de Decisão

Assim como o seu futuro depende das decisões que você toma hoje para resolver os seus problemas, o sucesso das soluções de engenharia depende das decisões tomadas pelo engenheiro. Você pode se perguntar se existe algum método que auxilie nos processos de tomar decisões. A resposta é sim, entretanto os

²³ Adaptado de Krick [11]. Ap, A1, A2, ..., An representam idéias de alternativas de solução.



problemas de engenharia são muito variados e é difícil de generalizar um procedimento que se encaixe em todos os processos de decisão. Os conhecimentos necessários e os métodos especializados a serem utilizados dependem da natureza, complexidade e variedade do problema, de alternativas levantadas e de outras características e circunstâncias. Os procedimentos de tomada de decisão podem variar desde análises e comparações exaustivas de testes, medições e custos até julgamentos rápidos, simples e informais.

Apesar disso existem alguns procedimentos comuns aos mais variados tipos de problemas que podem ser seguidos como auxílio na toma de decisões importantes, e que são:

- a escolha dos critérios;
- a previsão da eficácia das soluções selecionadas;
- a avaliação para comparar as alternativas de acordo com o desempenho previsto e;
- a escolha há solução.

3.6.2. A Escolha dos critérios

Os critérios bem definidos e aprovados pelos clientes constituem a base para efetuar a escolha da solução mais eficiente. Na maioria dos problemas de engenharia os critérios predominantes são de ordem econômica: custos, retorno do investimento (taxa e tempo), relação custo-benefício, custos de operação e manutenção, etc. A relação custo-benefício (ou rendimento de capital), que representa o benefício que se espera de uma solução relacionado como o custo que se espera para implementá-la. Embutido nesse fator está o custo global, que pode definir se a solução é economicamente viável ou não. Uma indústria de celulose pode ter uma relação custo-benefício bastante vantajosa, porém pelo alto investimento inicial (em torno de R\$ 1 bi) pode ser inviável para uma pequena empresa por ela não poder apresentar garantias suficientes aos bancos financiadores.

Em geral, os custos definem a possibilidade da uma solução específica possa ser ou não implementada e a relação custo-benefício serve para definir se a mesma vale a pena. Os clientes e investidores em geral estão interessados no lucro que a solução lhes pode gerar; os usuários estão preocupados na eficiência da solução para minimizar as suas necessidades.

O engenheiro rara vez descreve os benefícios de uma solução proposta sem deixar explícito o seu custo. No exemplo da escova de dente elétrica, os projetistas tomaram como critério principal o retorno do investimento, entretanto, outros



critérios secundários tiveram que ser considerados (por exemplo, o tipo de alimentação, tipo de escova, etc.) para poder determinar melhor o retorno do investimento. A Figura 3-11 mostra alguns critérios que normalmente são levados em consideração na hora de escolher soluções.

Veja a seguir uma parte do relatório apresentado por um engenheiro à direção de uma indústria fabril referente à atualização de uma máquina de produção existente e o projeto de uma nova. O objetivo era convencer e demonstrar que embora a transformação da máquina antiga custasse a metade, a construção de uma máquina nova é a alternativa mais vantajosa.

Tabela 3-1 – Relatório de comparação de critérios para tomada de decisão entre duas possíveis soluções.

| Critérios | | Máquina Nova Proposta (R\$) | Atualização da Máquina Atual | Máquina Atual (R\$) |
|--|--|--|---|---------------------|
| Investimento | Custos de desenvolvimento, instalação e testes | 80.000 | 40.000 | 0 |
| Gastos de operação nos próximos 4 anos | Operários | 40.000 | 80.000 | 80.000 |
| | Manutenção | 20.000 | 80.000 | 140.000 |
| | Reparações | 10.000 | 30.000 | 70.000 |
| | Energia consumida | 6.000 | 20.000 | 30.000 |
| | Subtotal Operação | 76.000 | 210.000 | 320.000 |
| | Total de Custos Tangíveis | 156.000 | 250.000 | 320.000 |
| Intangíveis | Confiabilidade | Melhor | Igual | |
| | Segurança | Melhor | Melhor | |
| | Flexibilidade de operação | Melhor | Igual | |
| | Permite expansão | Sim | Não | |
| | Permite aumento da velocidade de produção | Sim | Sim | |
| Relação Custo-Benefício | $\frac{VI}{GOA - GON}$ GOA: Gastos de operação atual. GON: Gastos de Operação novo VI: Valor do investimento | $\frac{80000}{320000 - 76000} = 0.328$ | $\frac{40000}{320000 - 210000} = 0.364$ | |
| Relação Benefício-Custo | $\frac{GOA - GON}{VI}$ | 3,05 | 2,75 | |
| Previsão de valores poupados em relação ao custo atual de operação | Não inclui correção monetária nem custo de capital | 244.000 | 110.000 | |



Observe que a relação custo-benefício na máquina nova é quase 10% custo-eficiente melhor que a transformação, significando que para cada R\$ 1,00 investido, retornará R\$3,05 em até quatro anos. O valor poupado esperado no custo de operação da máquina nova é 2,21 vezes maior que na máquina transformada.

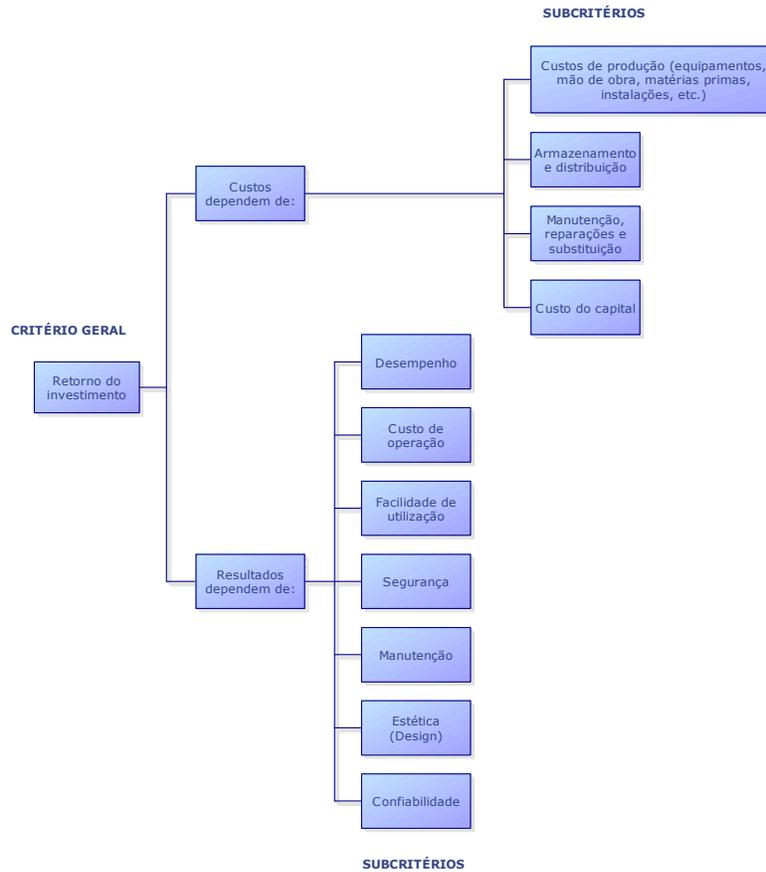


Figura 3-11 - Classificação de alguns subcritérios levados em consideração na escolha de soluções.

Normalmente são poucos os critérios que podem ser medidos com facilidade e exatidão, sendo que a muitos deles nem são possíveis de serem medidos. Observe no exemplo da Tabela 3-1 onde os critérios de custos foram “medidos” em R\$, entretanto medir critérios de segurança e confiabilidade seria muito custoso e demorado, além de não ser muito prático para a tomada de decisão. Mesmo assim, o engenheiro avaliou esses critérios de forma qualitativa relativa chegando à conclusões que reforçavam o argumento da construção de uma nova máquina.

3.6.3. Como Prever o Desempenho

É especialmente importante para o engenheiro prever adequadamente sobre como as soluções escolhidas se comportarão com relação aos critérios estabelecidos. Por exemplo, numa aplicação de telefonia celular, quais as vantagens



e desvantagens de uso de baterias feitas de LiOn, NiMH ou NiCd? O que deseja o consumidor, maior duração das baterias ou diminuição do custo final? Qual o tempo de vida de funcionamento dos componentes eletrônicos das placas de circuito impresso do aparelho celular?

Para fazer este tipo de previsões os engenheiros recorrem ao julgamento pessoal, pesquisas de mercado, a publicações sobre sistemas similares, a testes com protótipos em escala, a modelos matemáticos e iconográficos e a simulações. Quando possível, deve se preferir expressar as previsões em termos monetários.

Um exemplo é o caso em que você pode ter que decidir entre comprar um carro movido a álcool, gasolina ou diesel. Não adianta saber somente o preço do veículo, o valor do litro de cada tipo de combustível. Para saber qual a melhor alternativa, você deverá também definir por quanto tempo ficará com o automóvel e em média quantos quilômetros serão rodados em média por ano. Nesses casos é bastante conveniente o uso de termos monetários.

Imagine que você tem que decidir pela compra de uma caminhonete e está para decidir por um motor diesel (R\$50.000,00) ou a gasolina (R\$ 45.000,00). Se o seu único critério for o custo do veículo, você decidiria imediatamente pelo motor a gasolina. Um outro critério poderia ser o preço do combustível. Imagine que o preço por litro da gasolina é de R\$ 3,00 e o do óleo diesel é de R\$ 2,00. Caso o valor do combustível seja o único critério você decidiria por um motor a diesel. Os dois critérios mencionados são antagonistas e o problema surge na hora de combinar esses dois critérios. Você pode perceber que a resposta está na relação custo-benefício. Para tentar saber qual a alternativa mais econômica temos que fazer algumas definições, do tipo: Quanto tempo você irá ficar com o veículo e quantos quilômetros você espera andar por ano? Caso você defina que irá ficar com o veículo pelo prazo de 4 anos rodando aproximadamente 10.000 km/ano pode se fazer uma estimativa de custo de combustível nos próximos 4 anos. Como misturar critérios medidos em km, litros e anos com critérios medidos em R\$? Resposta: com um pouco de lógica matemática pode se montar a Tabela 3-2.

Tabela 3-2 – Critérios para a decisão de compra de um veículo de acordo com o tipo de combustível.

| Critérios (4 anos x 10.000 km/ano = 40.000 km - valor presente) | | Caminhonete Tudit - Diesel | Caminhonete Tudit - Gasolina |
|--|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Custo do veículo – CV | | 50.000 | 45.000 |
| Custo total do combustível – CC | R\$/litro | R\$ 2,00 | R\$ 3,00 |
| | km/litro | 8 | 11 |
| | Litros consumidos | 5.000 litros | 3.636 litros |



| | Subtotal | R\$ 10.000 | R\$ 10.908 |
|--|-----------------|-------------------|-------------------|
| Custo médio de manutenção - CM | | R\$ 8.000 | R\$ 6.000 |
| Custo total aproximado CV + CC + CM | | R\$ 68.000 | R\$ 62.000 |

Na análise mais detalhada de critérios da Tabela 3-2, você pode observar que a opção de motor a gasolina é a mais adequada para os critérios previstos. Outros critérios que poderiam ser considerados para ter uma visão mais exata das previsões poderiam ser os valores dos impostos (no veículo e nos combustíveis), valor do seguro, consumo de óleo de motor, etc. Você pode observar que o maior investimento no veículo com motor diesel neste caso fictício não se compensaria pelo somente pelo preço inferior do combustível, pelo menos na janela de tempo especificada e para os quilômetros por ano estabelecidos. Sempre que for possível, as previsões devem ser feitas em valores monetários equivalentes.

O engenheiro, antes de tomar uma decisão, precisa conhecer o custo total do “combustível” consumido pelas diferentes formas de transformação de energia e a eficiência dessas transformações e não apenas as quantidades do mesmo. No exemplo, é necessário conhecer o custo médio de manutenção em termos de dinheiro e não somente os valores dos combustíveis, tentando sempre avaliar o desempenho previsto em termos monetários²⁴.

3.6.4. Comparação de Alternativas

O engenheiro tem que justificar as suas decisões pelo registro consciente dos fatores que influenciam no seu trabalho. O desempenho das alternativas de solução deverá ser comparado usando os critérios adotados, sempre que possível em unidades monetárias.

No caso de critérios mais subjetivos, de difícil conversão em unidades monetárias, deve-se consultar o maior número de pessoas possível para poder avaliar o “peso” de cada característica ou alternativa.

3.6.5. A Decisão pela Solução Ótima

A busca pela solução ótima começa na fase da pesquisa e se estende até a fase da decisão. A otimização se dá em duas fases separadas, a primeira se concentra na pesquisa de possíveis soluções seguida pela fase de comparação e redução

²⁴ Isto é geralmente difícil para certos critérios subjetivos tais como segurança, conforto e design.

ilustrada na Figura 3-10. Esta divisão é particularmente útil quando o engenheiro depende muito da sua imaginação para inventar soluções e/ou quando a comparação e seleção destas exigem muito tempo e de recursos. Se o engenheiro começar a especificar em detalhe cada idéia de solução que aparecer para poder avaliá-la prejudicaria o seu processo criativo, além do mais não há motivo para ter que detalhar e avaliar todas as idéias porque várias delas serão inferiores e não valerá o esforço. No entanto, quando não se depende muito da criatividade para gerar soluções alternativas, estas poderão ser avaliadas de forma rápida e simples, sem ter que separar a otimização nas fases de pesquisa e decisão.

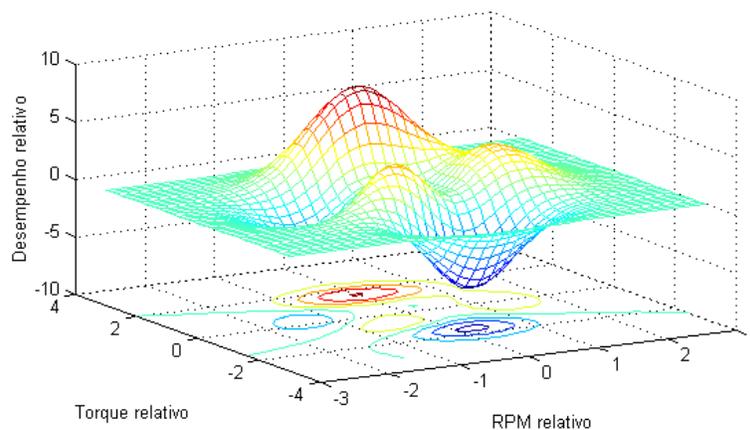


Figura 3-12 - Influência de dois fatores variáveis de solução no ajuste do *setpoint* para o desempenho de um sistema de controle automático hipotético.

Observando a Figura 3-12, pode se observar a representação da influência da velocidade relativa de rotação e do torque relativo (relativos a um ajuste de *setpoint* predeterminado) no desempenho de um sistema de controle hipotético. Existem combinações de ajuste da velocidade e do torque que maximizam o desempenho e outras que o minimizam. Pode se observar também a existência de pontos de operação sub-ótimos. A representação gráfica do desempenho com relação aos ajustes das variáveis facilita a compreensão pelo engenheiro da influencia das mesmas no sistema. No caso de três variáveis de controle a representação começa a ficar complicada e deverá ser feita usando mais gráficos. Um sistema computacional pode calcular e avaliar os valores ótimos para os pontos de ajuste, por isso, os engenheiros devem conhecer os modelos matemáticos e boas noções de programação de computadores.

3.7. A Especificação da Solução Final

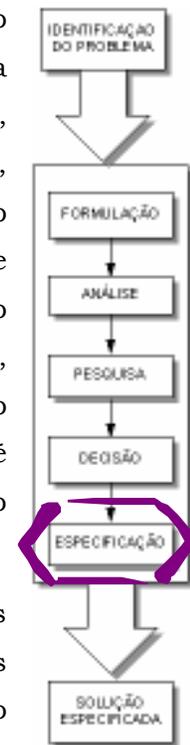
Após o engenheiro ter tomado a decisão de escolha da solução considerada a mais adequada, deve então proceder com a especificação dos detalhes da mesma. As características mecânicas, elétricas, químicas, etc., procedimentos de construção, operação, manutenção, orçamentos, cronogramas e os padrões de desempenho desejados devem ficar explicitamente identificados para que o cliente os aprove ou não. Caso a proposta de solução seja aprovada, então essas especificações servirão de guia para o pessoal da construção, operação e manutenção. De fato, como regra geral não é o engenheiro projetista quem constrói, monta, opera ou mantém e por isso é particularmente importante que ele mantenha uma documentação cuidadosa e detalhada a solução que propõe.

Um dos meios usados pelos engenheiros para comunicar as suas especificações são os desenhos de dispositivos, estruturas, circuitos ou processos. Esses desenhos – também chamados de *plantas* - são cuidadosamente preparados, dimensionados e detalhados seguindo normas específicas de forma que possa ser entendido sem ambigüidades pelos outros membros da equipe, tornando-se o principal elemento de documentação e comunicação da solução dos problemas de engenharia. Essas plantas vêm sempre acompanhadas de relatórios técnicos que descrevem o problema a ser resolvido, a solução proposta, as justificativas, os custos e os prazos previstos.

Em muitas áreas a especificação da solução inclui a construção de um protótipo que pode ser um dispositivo totalmente funcional ou simplesmente uma maquete em escala geométrica. Este tipo de comunicação é muito útil, porque podem dar uma pequena mostra de como ficará a solução final, facilitando o aceite da proposta por parte dos clientes ou usuários.

3.7.1. O Processo Solucionador

Já foi mencionado que as pessoas são vítimas de certos hábitos que prejudicam a sua capacidade de resolver problemas com eficácia. Exemplos desses hábitos é a tendência a omitir a definição reflexiva do problema real, perder tempo com condicionantes fictícios e a aceitar a primeira solução que parecer aceitável. Essa tendência é persistente e a única maneira de resolver é conhecendo-a e compreendendo os nossos hábitos prejudiciais. O estudante de engenharia deve desde o início fazer essa auto-análise sempre que se defrontar com problemas





novos de forma a criar o hábito construtivo de destruir barreiras imaginárias e a de promover sempre o raciocínio e a busca de alternativas para soluções aos problemas de engenharia.

De pouco ou nada serve ao engenheiro conhecer soluções para problemas já resolvidos. Aprender a tocar no piano perfeitamente uma sinfonia de Chopin aos oito anos de idade não significa que esse precoce músico aprenderá algum dia a fazer música. Assim, o engenheiro também deverá além de saber tocar o seu “piano” perfeitamente, aprender a fazer “engenharia”. Fazer engenharia compreende estabelecer uma atitude analítica de raciocínio lógico evitando sempre os pré-conceitos que limitam a sua capacidade criadora.

Cada fase do processo descrito neste capítulo apresenta um objetivo diferente assim como implica em diferentes tipos de atividades específicas a cada uma delas, instituindo uma seqüência lógica útil para encarar a resolução de problemas de qualquer magnitude. No entanto, os limites entre essas etapas não estão bem definidas e nem sempre a seqüência é a progressão é de acordo com o esperado. Pode acontecer que as fases de análise e pesquisa se misturem um pouco. Eventualmente podem ser imaginadas algumas alternativas de solução durante a formulação do problema, e durante a fase da pesquisa pode se proceder à reformulação do problema e às vezes é praticamente impossível evitar efetuar comparações durante a fase da pesquisa. Durante o processo, novos entendimentos, novas informações e novos fatos aparecem de forma inesperada. Algumas conseqüências e implicações ignoradas ou esquecidas inicialmente começam a surgir durante o processo provocando interrupções no fluxo do processo com a volta às fases anteriores, como pode ser visto na Figura 3-13.

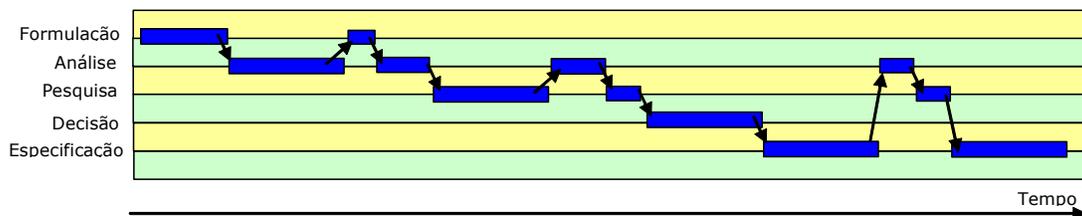


Figura 3-13 - Representação gráfica hipotética da distribuição das tarefas no tempo do processo da solução.

As fases do processo estão intimamente relacionadas por informações que são inicialmente reunidas e analisadas durante a fase da definição do problema. A fase de pesquisa coleta novas informações baseadas nas já existentes e as fases que seguem envolvem também a coleta, análise, seleção, avaliação e transmissão de informações. Grande parte desse processo se desenvolve na mente das pessoas



tornando o processo eminentemente abstrato, característico do tipo de trabalho dos engenheiros.

3.7.2. O Tamanho dos Detalhes a Considerar

Na maioria dos casos o processo da solução deve tratar apenas das características mais genéricas do problema, ignorando de forma proposital os seus elementos componentes. A idéia é óbvia, simplificar sempre que possível até o detalhe necessário para estabelecer a viabilidade econômica da solução e a quantidade de subsistemas necessários. O projeto dos detalhes deve acontecer numa etapa posterior, depois de efetuar uma previsão satisfatória sobre os recursos necessários para o desenvolvimento, produção e aceitação dos clientes e consumidores.

Por exemplo, no caso do projeto de um prédio de apartamentos primeiro se estabelece um orçamento baseado nas exigências dos possíveis clientes, no número de andares e os tipos de instalações. Os projetos detalhados da estrutura, dos sistemas de distribuição de água, eletricidade e comunicação serão feitos posteriormente após o aceite por parte do cliente.

No início deve se ter uma visão global o mais correta possível da solução a ser implementada. Num determinado momento o sistema previsto deverá ser dividido nos seus subsistemas componentes, entretanto este é um processo gradual. As funções e interações entre os subsistemas componentes estão definidas pelo comportamento global, entretanto as características particulares de cada um deste terão influencia no resultado final.

3.7.3. A Viabilidade Econômica das Soluções

Os recursos disponíveis às pessoas e empresas são sempre limitados e é bastante utópico pensar que o cliente pagará qualquer preço pela solução, ou que poderá esperar eternamente até alcançar a solução perfeita. Uma solução boa tem como pré-requisito requerer de recursos limitados aos valores que os usuários da mesma considerarem econômicos. Algumas soluções podem ser lucrativas, i.e., que resultam em lucro para os investidores sendo que outras soluções retornam benefícios.

A questão que sempre deve estar presente e se poderá ser alcançada uma solução que resulte em benefícios considerados superiores ao seu custo e essa característica é quem decidirá pelo início ou não da materialização da solução. As propostas de solução aos problemas de engenharia devem ser apresentar benefícios



superiores ao custo da sua implementação, isto é bastante óbvio e por isso deve ser feita a análise detalhada da relação custo/benefício esperada para o resultado da síntese da solução. Por exemplo, esse benefício pode se dar na forma de lucro para um fabricante de equipamentos de ressonância magnética nuclear que investiu na concepção e construção do equipamento e na forma de benefícios à saúde de um paciente que o utiliza como ferramenta de diagnóstico e que investiu dinheiro na utilização do mesmo.

Quem decide proceder ou não com a solução proposta por um engenheiro são os clientes ou chefes, que por sua vez são pessoas. Essas pessoas tomarão decisões baseadas no seu julgamento pessoal, experiências anteriores e na forma que o engenheiro apresentar a sua proposta de solução. Durante todo o processo da solução deve se verificar constantemente que a proposta de solução continua se justificando do ponto de vista econômico. Se a qualquer momento as informações obtidas revelarem que a solução não mantém mais a relação custo-benefício considerada aceitável, essa deverá ser imediatamente alterada ou cancelada para evitar maiores prejuízos, à luz das tecnologias disponíveis.

No início de qualquer atividade da busca de soluções o conhecimento sobre a solução final eficiente é bastante limitado, havendo muitas incertezas que deixam em risco que uma iniciativa seja economicamente eficiente. No entanto, à medida que o processo de busca da solução progride surgem novas informações que ajudam na comparação de idéias e técnicas que possam sustentar a hipótese de uma solução econômica com redução dos riscos envolvidos. Assim, o início do processo apresenta o nível máximo de risco em desenvolver uma solução errada, nível este que vai decrescendo na aparição de novas informações relevantes.

A previsão segura a respeito da viabilidade econômica de uma solução proposta ou em andamento é primordial no trabalho do engenheiro, e além de ter que tomar decisões dessa natureza seja uma tarefa extremamente difícil, as previsões erradas ^[11] de uma solução poderão trazer descrédito profissional.

3.8. E depois da Especificação? Do Abstrato ao Concreto

A atividade de definir a solução para um determinado problema, desde a fase de formulação até a especificação da solução final é comumente chamada de **anteprojeto**. Até este ponto a solução ainda não foi implementada e para que isto aconteça devem ser trabalhadas outras fases de planejamento e execução que



constituem com o anteprojeto, o que é conhecido como **projeto** de engenharia, como pode ser visto na Figura 3-14.

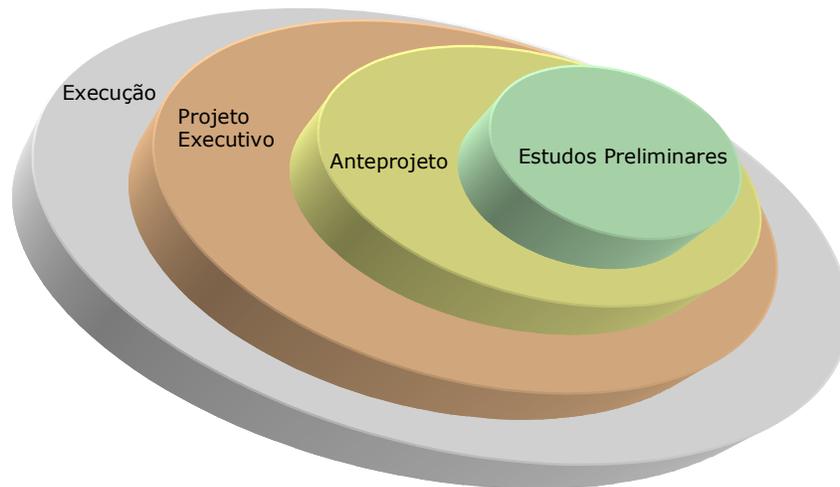


Figura 3-14 – Depois da especificação final

Rara vez o trabalho do engenheiro acaba com a especificação da solução. Essas tarefas se estendem à aceitação da sua proposta, a supervisão da instalação, fabricação ou início da operação e a avaliação do seu funcionamento. Após a avaliação, o engenheiro deverá decidir se modificar ou não o projeto fechando um ciclo de atividade.

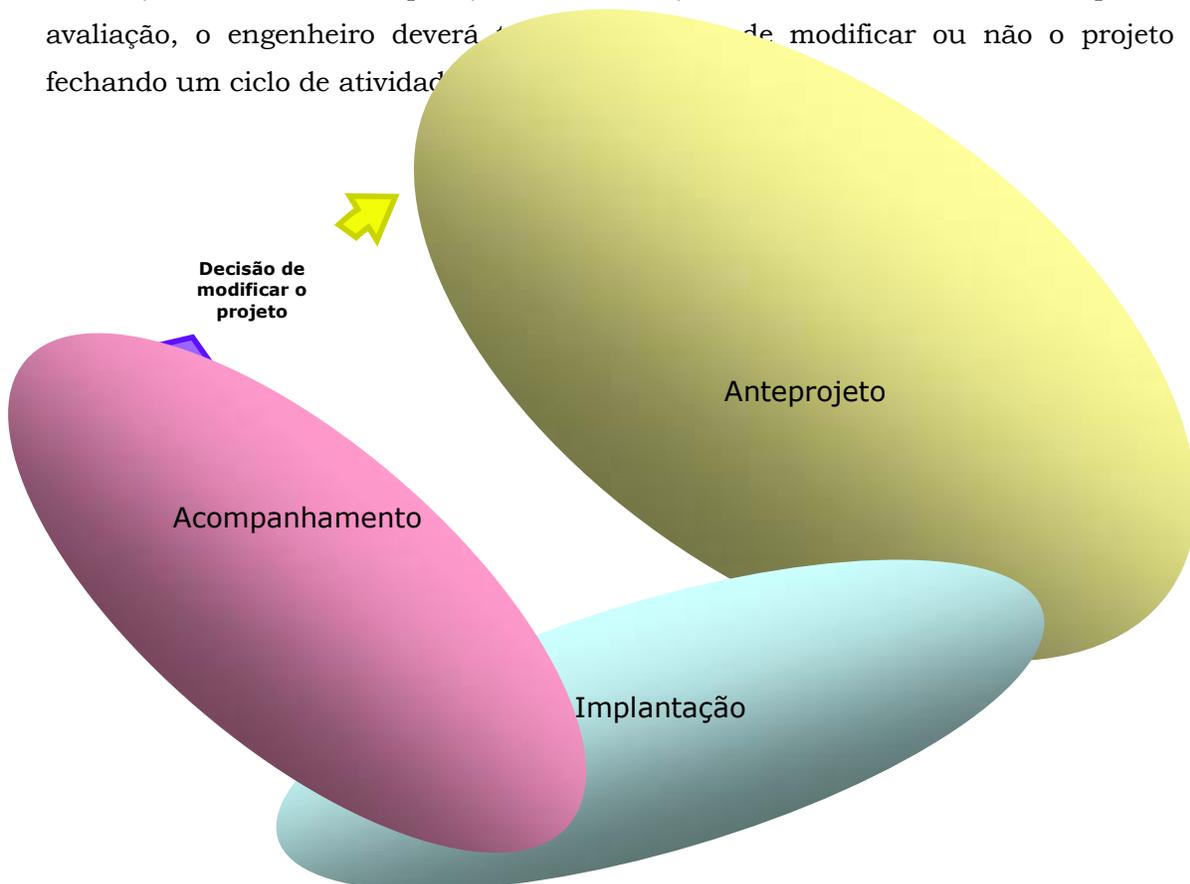


Figura 3-15 – Atividades no ciclo do projeto.



3.8.1. A Implantação da Solução

Para o engenheiro, a melhor forma de assegurar o sucesso da sua solução é participando do processo de facilitação da sua proposta e assumindo a supervisão da instalação, fabricação ou operação, na fase denominada de Implantação na Figura 3-15.

É comum o engenheiro ter que convencer certas pessoas com poder de decisão para esta se concretizar ou não, em função das vantagens econômicas que ela representa, tais como administradores, clientes, políticos ou ao público em geral. A aceitação dessas propostas rara vez é automática, sendo necessário que se dedique todo um esforço especial no convencimento dessas pessoas. O melhor engenheiro do mundo pode criar a melhor proposta de solução do mundo, que de nada serviria se ele não conseguir convencer a quem detém o poder da liberação dos recursos necessários. A aceitação das suas propostas é um dos momentos primordiais onde o engenheiro deve praticar as suas habilidades de comunicação.

É comum nos engenheiros principiantes a falsa impressão de que as suas propostas serão automaticamente aceitas e implementadas, simplesmente por elas serem mais modernas, mais bonitas e mais econômicas. Usualmente esses subestimam a importância da apresentação detalhada das suas propostas, de convencer outras pessoas sobre o mérito das suas idéias e de elaborar um cuidadoso planejamento que minimize a natural resistência às inovações, além do “concurso de beleza” político que normalmente se estabelece nas grandes organizações. Dentro das empresas, o setor de engenharia normalmente é uma função de “staff”, i.e., oferece função de apoio para a Direção. Na Direção das empresas muitas decisões são tomadas sem muita objetividade e sempre há diferenças de opinião exigindo do engenheiro muito cuidado no momento da negociação da aprovação – ou não - da sua solução.

Depois de aceita a proposta pelas autoridades competentes é importante para o engenheiro participar da supervisão da instalação, fabricação, construção ou operação; por exemplo, na fabricação de um telefone celular, um viaduto, um aeroporto, uma antena, um edifício, uma subestação de transformação ou um motor de combustão. Comumente é necessário efetuar modificações na proposta original e ninguém a conhece melhor que o próprio engenheiro que a projetou.



3.8.2. O Acompanhamento da Solução

A observação permanente do funcionamento dos dispositivos pelo engenheiro projetista, estruturas ou processos permitem garantir que a solução está sendo bem utilizada além de possibilitar a avaliação da sua eficiência e eficácia.

A avaliação dos resultados permite ao engenheiro uma oportunidade sem igual de aperfeiçoar os seus conhecimentos e práticas, entretanto esta prática parece ser bastante negligenciada. Muitas vezes os engenheiros têm medo de serem responsabilizados por problemas que venham a acontecer depois do início do funcionamento das suas soluções, entretanto, a verificação desses problemas podem justificar um novo processo de procura por soluções, dando novas oportunidades aos engenheiros.

3.8.3. A Reativação do Processo da Busca de Soluções

Como tudo na vida, nada é eterno. O que hoje se apresenta ser a melhor solução, amanhã não mais a será. A observação e verificação periódica da eficácia da solução implantada podem servir de base para decidir se é vantajoso efetuar modificações que justifiquem uma nova proposta. Nenhuma solução prática permanece indefinidamente como sendo a melhor, surgindo novas demandas e novas informações além de haver depreciação física dos sistemas construídos. Sempre chegará o momento em que será vantajosa a procura por novas soluções, sendo a única forma de saber quando é o momento, por meio da revisão e avaliação das soluções atualmente adotadas. Desta forma, recomeça-se a procura por uma solução melhor e reinicia-se o processo de busca da melhor solução.

3.9. Conclusões do Método de Engenharia

Ao encarar um problema o engenheiro deve formulá-lo cuidadosamente para ter certeza que o problema vale a pena ser resolvido, de que a sua perspectiva do problema é suficientemente ampla, evitar se emaranhar prematuramente com os detalhes e confundir-se com as soluções que apareçam de forma instantânea.

Qualquer problema pode ser formulado com diferentes graus de amplitude, desde definições muito genéricas e vastas que proporcionam um elevado número de alternativas, até formulações específicas que limitam a margem de alternativas. O engenheiro deverá formular o problema com a amplitude que permita superar as limitações imaginárias de soluções rotineiras ou “soluções coringa” que usualmente leva a soluções inferiores.



A habilidade na formulação correta dos problemas é a parte mais importante do processo e pode ser fomentada pelo exercício mental. Por isso se recomenda aos estudantes de engenharia que estimulem essa habilidade desde o início das suas carreiras.

Os tipos de informações que o engenheiro deve obter para analisar os problemas podem ser resumidos na Tabela 3-3.

Tabela 3-3 - Terminologia da análise de problemas.

| | |
|---|---|
| Entrada (estado EI) | O estado de coisas existente antes da transformação desejada. |
| Variável de entrada | Uma característica da entrada, que pode variar com o tempo. |
| Condicionante de entrada (limitação de entrada) | Limitação do valor que uma grandeza pode assumir uma variável de entrada. |
| Saída (estado EF) | O estado de coisas existente depois da transformação desejada. |
| Variável de saída | Qualquer característica da saída que pode variar com o tempo. |
| Condicionante de saída | Limitação da grandeza que pode assumir uma variável de saída. |
| Solução variável (parâmetro de projeto) | Qualquer característica da solução que pode sofrer alteração. |
| Condicionante | Limitação da grandeza que pode assumir uma variável de solução. |
| Critério (medida da eficiência) | Base estabelecida para avaliar o mérito relativo das diferentes soluções. |
| Escala de Produção | O número de vezes que a solução do problema é repetida. |
| Utilização | O número de vezes que uma dada unidade da solução será usada na realização da transformação desejada. |

A análise dos problemas implica a coleta e processamento de grande quantidade de informação. Na conclusão desta fase, o engenheiro terá confirmado a necessidade da transformação desejada de forma genérica, entretanto com as certas características específicas bem determinadas, como pode ser visto na Figura 3-16.

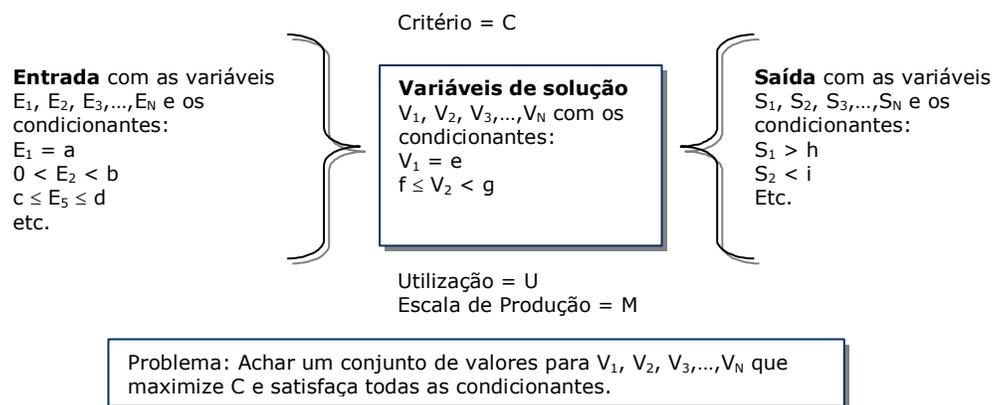


Figura 3-16 – Aplicação da terminologia apresentada na Tabela 3-3 a um problema hipotético.



Durante a análise o engenheiro deverá fazer todo o esforço necessário para se libertar dos condicionantes fictícios especialmente daqueles estabelecidos pela solução atual do problema, o que pode provocar a limitação de considerar soluções inovadoras. O exame da solução atual se justifica tão somente para efeitos de comparação com as novas propostas. É importante que esse exame não se confunda com a análise profunda do problema. Quanto mais o engenheiro se preocupar em analisar o funcionamento da solução atual no lugar de usar o próprio raciocínio, maior será a dificuldade de liberar o seu pensamento para soluções inovadoras, fato que geralmente resulta em uma nova cara da solução velha. Ao concluir a fase da análise o problema deverá estar claramente definido.

A fase da pesquisa é eminentemente criadora, e é onde o engenheiro se municia de informações específicas que possam ser úteis nos mais variados aspectos da solução. A quantidade de informação disponível não serve de muito sem o verdadeiro discernimento de como pode ser usada e por isso o engenheiro depende da sua inteligência para poder resolver os problemas onde não se aplicam os princípios gerais. Muitos engenheiros acham que o aspecto criador deste tipo de tarefa é a parte mais atraente do seu trabalho.

Na fase da decisão é onde o engenheiro terá que escolher qual o caminho que leva à especificação da solução. Os problemas de engenharia são tão variados que não há como estabelecer um procedimento padronizado para a toma de decisão, tendo o engenheiro que confiar no seu senso comum, experiência e na capacidade das suas habilidades mentais. Muitos fatores influenciam diretamente o resultado final tornando bastante difícil alcançar a solução ótima, entretanto esse desafio é que torna o trabalho dos engenheiros tão interessante.

4. O PROJETO - A ESSÊNCIA DA ENGENHARIA

A essência da engenharia é o projeto²⁵. O projeto é o planejamento mental de um dispositivo, processo ou sistema que irá efetivamente resolver um problema ou satisfazer uma necessidade. O significado do projeto de engenharia vai além do seu significado semântico de planejamento e se estende desde a concepção mental do processo da solução até o esforço empreendedor da sua síntese, como mostra o diagrama da Figura 4-1.

Um projeto pode ser motivado por razões econômicas, sociais, políticas e culturais e pode não corresponder à engenharia, no caso em que não é necessária a criação de bens físicos tais como dispositivos, estruturas e processos produtivos.

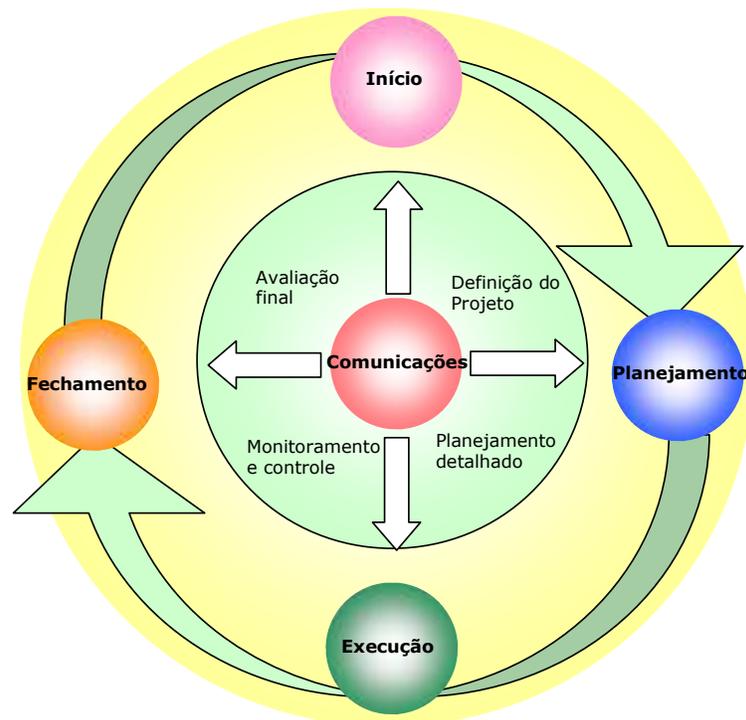


Figura 4-1 – Ciclo do Projeto

O engenheiro Mattion^[12] estabelece comenta que a definição do projeto pode variar dependendo do enfoque como é descrito a seguir.

Do ponto de vista **econômico** é o conjunto de antecedentes que permite fazer uma estimativa das vantagens e desvantagens econômicas que resultam da

²⁵ Projeto: [do latim “*projectu*”, “lançado para diante”] Idéia que se forma de executar ou realizar algo, no futuro; plano, intento, designio. Empreendimento a ser realizado dentro de determinado esquema.
^[13]



aplicação de recursos para a produção de determinados bens ou serviços e está associado à idéia de desenvolvimento econômico.

Do ponto de vista **investidor**, é uma idéia de investimento e seu estudo completo inclui a informação técnica, econômica e financeira para a sua concretização. Está associado com a idéia de rentabilidade.

Do ponto de vista da **engenharia**, é o processo através do qual o projetista, aplicando os seus conhecimentos, formula os seus planos para a realização de um sistema físico necessário para satisfazer uma necessidade humana.

No âmbito da engenharia, o projeto no seu sentido mais restritivo compreende somente o aspecto tecnológico tão somente, instituindo o que se conhece como a **Engenharia de Projeto**. No seu sentido mais amplo se refere ao conjunto de atividades que se estende desde a toma de conhecimento da existência de um problema, o estudo dos antecedentes que permitem fazer uma estimativa das vantagens em destinar recursos econômicos para o seu desenvolvimento, até a concretização de um sistema físico completo em produção, operação ou uso.

No capítulo anterior vimos como os engenheiros concebem a solução dos problemas. A continuação, trataremos sobre os detalhes que influenciam na síntese das soluções e sobre o transcorrer dos **Projetos de Engenharia**. Nesta seção, será explorada a forma como os engenheiros encaram os projetos e conhecerá um pouco mais sobre as características dos problemas encontrados no dia-a-dia do engenheiro.

4.1. O Projeto de Engenharia

Definiremos o **Projeto de Engenharia** da seguinte maneira:

“O Projeto de Engenharia é o conjunto de antecedentes e procedimentos que vão desde a toma de conhecimento de uma necessidade que constitui um problema de engenharia até a obtenção de uma solução apropriada, que dá origem à criação de um sistema físico inexistente e necessário para solucionar o problema estabelecido”.

Como já discutido no capítulo anterior, a condição necessária para a realização de um projeto é que ele seja factível, isto é, que satisfaça as viabilidades técnica, econômica, financeira, política e social, uma vez que o projeto não trata de problemas ideais e sim deve se concretizar num bem tangível.



Quando se trata de um projeto ou programa de desenvolvimento econômico usualmente se usa o termo **Engenharia do Projeto** para se referir à parte do mesmo que se relaciona com a fase tecnológica, isto é, com a participação dos engenheiros nas etapas técnicas do programa, e **Economia do Projeto** à parte que compreende os aspectos econômicos e financeiros.

4.2. As Etapas de um Projeto de Engenharia

Em geral todo projeto passa por etapas padronizadas com mais ou menos detalhe dependendo da sua natureza, tamanho e complexidade, e pode ser visualizado na:

Definição da necessidade (formulação)
Preparação do estudo de viabilidade (anteprojeto)
Projeto executivo ou definitivo
Programação, execução e posta-em-marcha.

4.2.1. O Anteprojeto

Cada vez é menos freqüente que um projeto grande se leve a cabo por uma simples intuição de uma pessoa com visão de futuro. Também não é suficiente contar com uma idéia vaga a respeito dos custos e da rentabilidade. Isto é porque as estruturas econômicas e sociais estão cada vez mais complexas e os câmbios são muito rápidos. Assim, os projetos das empresas não são mais guiados somente pela intuição do empresário ou pelo conhecimento superficial de mercado, devendo para isto serem realizados estudos técnicos e econômicos formais. É necessário então realizar estudos preliminares e anteprojetos que justifiquem a viabilidade e conveniência da sua realização.

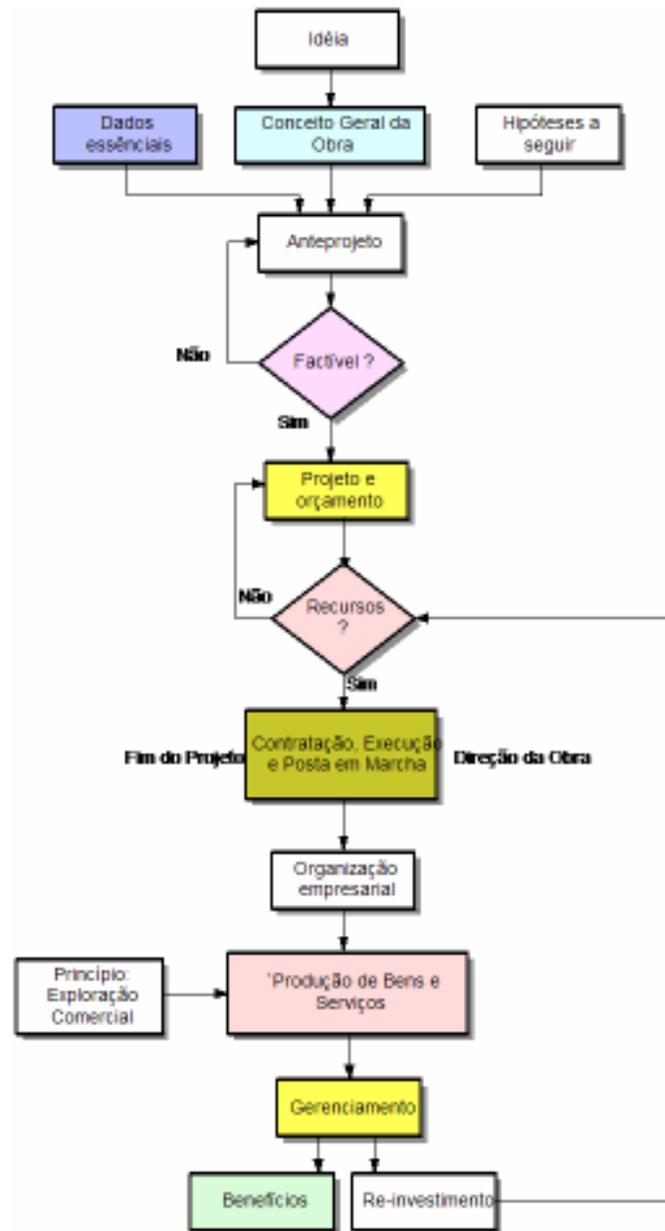


Figura 4-2 – Fases do projeto de engenharia



Nos estudos preliminares podem realizar-se estimativas sem maiores formalismos, baseadas em antecedentes recopilados e serve para decidir se vale a pena destinar recursos para a realização do anteprojeto.

No anteprojeto não é admissível o uso de simples estimativas e deve estar apoiado em estudos técnico-econômicos mais completos. O anteprojeto pode ser definido como o conjunto de antecedentes que permite julgar as vantagens e desvantagens que apresenta o projeto a fim de decidir, com o conhecimento necessário, a conveniência de destinar recursos econômicos para a sua realização.

Caso se decida por levar adiante a iniciativa, se passará para a etapa de síntese ou concretização chamada de projeto executivo. O desenvolvimento completo de um projeto compreende várias etapas relacionadas entre si chegando à solução final através de um processo de aproximações e decisões sucessivas.

A etapa do anteprojeto compreende as seguintes atividades, não necessariamente nessa ordem, como mostra a Figura 4-3:

Estudos de mercado.

Determinação do tamanho e complexidade do projeto.

Localização.

Engenharia do anteprojeto

Cálculo de investimentos para a implantação.

Orçamento de gastos de operação e ingressos.

Justificativa econômica.

Financiamento.

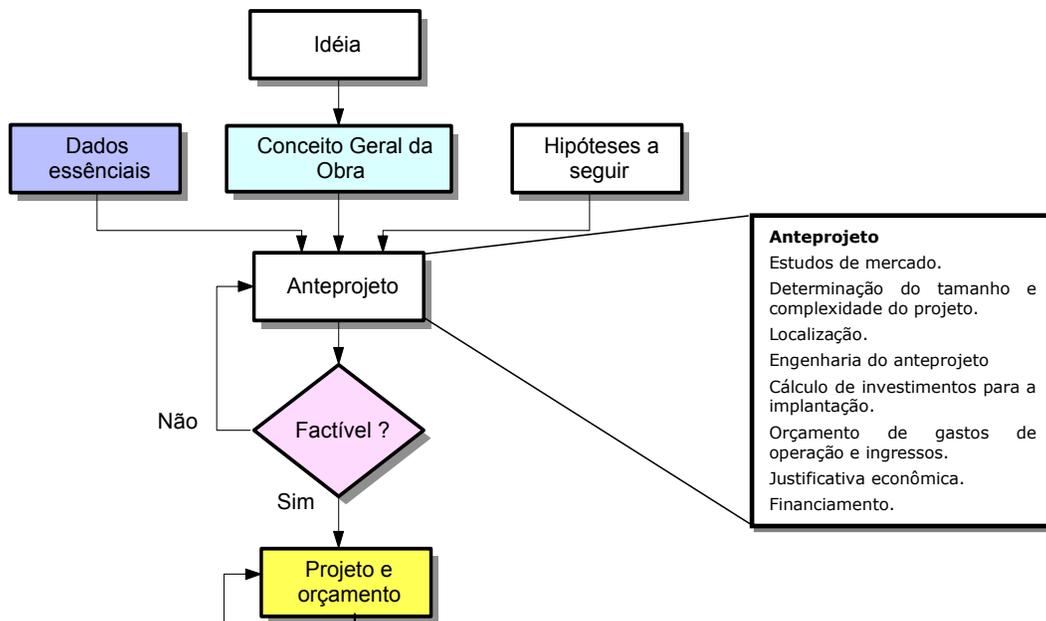


Figura 4-3 - Tarefas no anteprojeto



Os estudos de mercado tratam sobre os clientes em potencial, sobre a concorrência, sobre quantos produtos podem ser vendidos e a qual preço.

A determinação do tamanho e complexidade compreende a determinação das escalas de produção inicial e futura.

A localização serve para definir qual o local mais apropriado para a instalação, a localização dos mercados consumidores, das matérias primas, transporte, mão de obra qualificada e a disposição dos outros recursos necessários.

A engenharia do anteprojeto é o desenvolvimento tecnológico anterior ao projeto para definir com melhores detalhes os problemas técnicos que irão aparecer, descrição dos processos, especificação dos equipamentos, justificativa de quantidade e qualidade das matérias primas, elaboração de plantas, esquemas e gráficos que forneçam idéias claras sobre o que se projeta e que permitam determinar os custos da implantação e exploração. Tudo isto sem ainda entram nos detalhes construtivos.

O cálculo dos investimentos inclui a determinações do ativo fixo em moeda local e estrangeira.

O orçamento de ingressos e gastos de operação serve para determinar por estimativas os custos operacionais e os ingressos a serem originados no caso do empreendimento se concretizar.

A justificativa econômica inclui os antecedentes necessários para avaliar o projeto e se justifica o investimento de acordo com os critérios de avaliação estabelecidos.

O financiamento especifica de onde se obterão os recursos econômicos, a forma de solicitação e o cronograma de liberação de fundos para a concretização do projeto.

O objetivo básico do anteprojeto é a sua avaliação para sujeitar o projeto para aprovação ou não, especificando as vantagens e desvantagens da aplicação de recursos para a sua execução. A forma de especificar as vantagens e desvantagens depende dos critérios estabelecidos de avaliação. Daqui surge a necessidade de estabelecer desde o início da toma de conhecimento do problema qual será esse critério. Por exemplo, um empresário privado buscará fundamentalmente a rentabilidade, enquanto que um órgão público dará prioridade aos aspectos sociais.



4.2.2. O Projeto Executivo

Esta etapa se inicia depois de ter sido aprovada a aplicação dos recursos e inclui dois aspectos importantes:

- A engenharia do projeto
- A economia do projeto

Essas duas etapas se relacionam entre si e na busca da melhor solução se tentará conseguir uma combinação técnico-econômica adequada, mesmo em aqueles projetos cujo objetivo não seja o lucro.

A Engenharia do Projeto

A engenharia do projeto é o aspecto fundamental do projeto executivo e pode ser subdividida em duas etapas:

- O projeto do conjunto
- O projeto dos detalhes

O projeto do conjunto supondo o caso mais geral de projetos de sistemas produtivos pode incluir as seguintes tarefas:

- Aprofundamento dos estudos.
- Comparação e seleção dos processos.
- Especificação dos equipamentos.
- Edifícios industriais e a distribuição no terreno.
- Distribuição dos equipamentos nos edifícios.
- Serviços gerais.
- Instalações complementares e auxiliares.

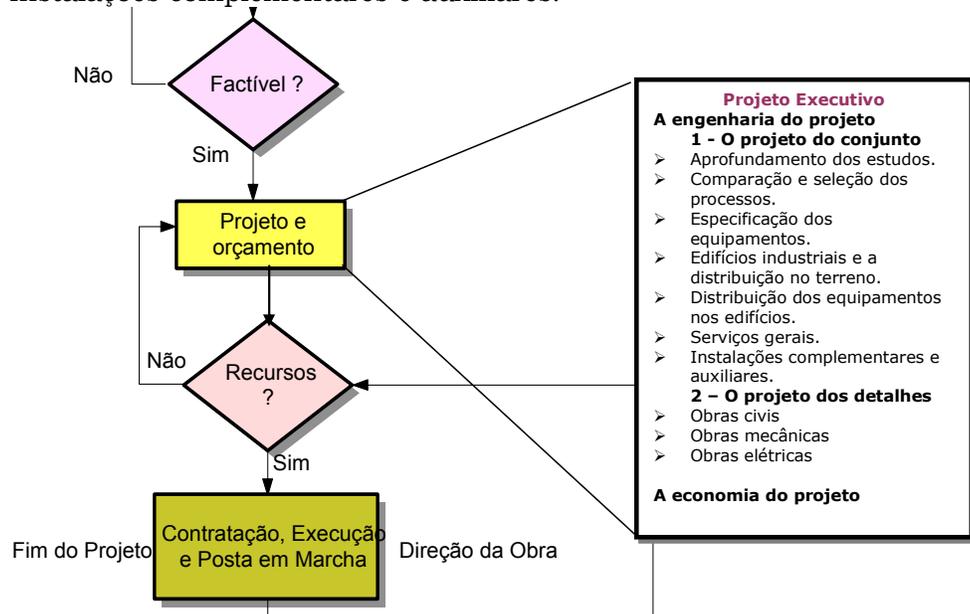


Figura 4-4 - A engenharia do projeto



O aprofundamento dos estudos feitos no anteprojeto se intensifica até que o conhecimento necessário seja considerado suficiente.

Na comparação e a seleção dos processos se analisam as distintas possibilidades aprofundando a análise realizada no anteprojeto e se estendem ao estudo da disponibilidade atual e futura da matéria prima necessária, ou adaptando os processos às matérias primas disponíveis que ofereçam melhores condições de abastecimento. Outros itens a serem tratados são a qualidade e quantidade do produto a ser elaborado.

Na especificação dos equipamentos se efetua a seleção e especificação completa dos equipamentos baseado nos processos escolhidos. A documentação deve ser completa e varia dependendo se os equipamentos serão fornecidos por terceiros ou se deverão ser fabricados de acordo com plantas e especificações próprias.

Na fase dos edifícios industriais e a distribuição no terreno se detalham os prédios industriais cujo tamanho e características particulares se determinam com base nos processos e equipamentos escolhidos. Para a sua distribuição no terreno se analisará o fluxo de matéria prima desde o exterior, os depósitos e a expedição dos produtos elaborados. Uma parte deste estudo é feito no anteprojeto na otimização do fluxo de materiais, entretanto aqui é feito um estudo mais aprofundado, podendo coincidir ou não com o previsto no anteprojeto.

A distribuição dos equipamentos nos edifícios compreende a localização dos equipamentos e instalações produtivas nos edifícios industriais e os que irão instalados à intempérie, além da localização dos depósitos de matérias primas que ingressam no processamento, dos materiais em processamento e dos produtos elaborados para expedição.

Os serviços gerais compreendem os serviços de distribuição de água, energia elétrica, redes de comunicação, combustíveis, instalações de ar comprimido, tubulação de vapor, instalações de segurança, deságües, tratamento de efluentes e outros serviços necessários e a sua localização no terreno.

As instalações complementares e auxiliares compreendem os escritórios administrativos, oficinas de manutenção e reparo, vestiários, portaria, expedição, serviço médico, etc. Ou seja, edifícios e instalações que não estão relacionados diretamente com a produção.



Esta etapa se materializa mediante plantas do conjunto e dos subconjuntos gerais e se completa com diagramas, maquetes, plantas em perspectiva, etc., que ajudem na interpretação da solução.

A etapa do projeto dos detalhes pode inclui:

- Obras civis
- Obras mecânicas
- Obras elétricas

É uma etapa de maior detalhamento e se faz necessário o trabalho por especialidades. Nesta etapa se desenvolvem em detalhes os distintos componentes do projeto, o seu desenho e cálculo completos. Elaboram-se as plantas dos detalhes de cada componente e os relatórios com toda a informação necessária para a sua fabricação ou aquisição, instalação, montagem e posta em serviço.

As obras civis compreendem as obras de fundações, estruturas, edifícios, serviços, piscinas de tratamento de efluentes e outras de acordo com as necessidades do projeto.

As obras mecânicas compreendem as estruturas mecânicas, dos equipamentos, das peças mecanizadas, do transporte de fluidos, das instalações térmicas e outras.

As obras elétricas compreendem as obras e instalações de energia elétrica, de controle, de instrumentação, de informação, de comunicação e de iluminação.

A ordem das etapas acima não necessariamente está na ordem de execução, já que existe uma forte interdependência entre elas que obriga a que muitas das sub-tarefas tenham que ser executadas de forma simultânea, e as alterações de uma delas frequentemente força a alteração das outras.

As tarefas da engenharia do projeto não se limitam à elaboração da solução, confecção das plantas e das especificações. Esta fase deve fornecer subsídios para a elaboração da justificativa econômica do projeto. O engenheiro deve estar familiarizado com os termos e métodos da justificativa econômica do projeto porque deve conhecer quais são os antecedentes e dados que devem ser incluídos no relatório da engenharia do projeto, necessários para a sua avaliação. Em projetos menores ou em pequenas empresas onde não existe uma grande subdivisão de funções, o engenheiro deverá realizar também a tarefa da justificativa econômica para apresentar o conjunto do projeto e a justificativa à autoridade que vai decidir a sua execução.



Algumas outras tarefas adicionais que com freqüência o engenheiro deverá efetuar ou participar são:

Preparação das especificações para os editais de chamada de preços.

Seleção de fornecedores.

Análise de orçamentos e comparação de ofertas.

Pelo seu conhecimento completo do projeto, o engenheiro é também o mais indicado para:

Efetuar o planejamento completo do projeto

Programar a execução das obras.

Instruir sobre a operação e manutenção da planta.

Nos grandes projetos de engenharia um dos engenheiros estará sempre disponível na própria obra para resolver problemas técnicos que por ventura venham a surgir – e normalmente surgem – que signifiquem em necessidades de modificação da engenharia de projeto diretamente na obra. Esse engenheiro normalmente colaborará com as provas e a posta-em-marcha, tomará as notas para a correção dos planos conforme a implementação e facilitará a aprovação da conclusão da implementação.

A Economia do Projeto

As novas soluções encontradas nos estudos mais aprofundados do projeto afetam as outras soluções que fazem parte do todo podendo afetar a economia de todo o projeto, chegando incluso à necessidade de modificar os valores previstos no anteprojeto.

Em todos os projetos existe uma fase técnica e outra econômica, intimamente ligadas, e que se condicionam de forma recíproca. Qualquer modificação técnica afetará o aspecto econômico e as considerações econômicas podem condicionar as soluções técnicas.

As conclusões do estudo econômico podem acarretar em modificações importantes no projeto e por esse motivo, ambas as fases devem ir juntas de forma simultânea para não perder tempo no desenvolvimento dos detalhes de um projeto que a avaliação econômica obrigará a modificar.

O engenheiro deve sempre ter presente o aspecto econômico durante todas as etapas do desenvolvimento, sendo às vezes este aspecto tão importante que deve se gastar mais tempo estudando as possibilidades de redução de custos, que estudando os aspectos tecnológicos.



4.3. As Formas de Execução dos Projetos de Engenharia

As formas de efetuar a execução dos projetos de engenharia podem ser bastante variadas, no entanto pode se resumir em três tipos principais:

Por conta própria da empresa que o utilizará.

Por contratação da execução por terceiros.

Por desenvolvimento compartilhado.

4.3.1. Por Conta Própria

Neste caso a empresa que requer do projeto dispõe de um escritório de projetos próprio o qual realizará a totalidade das etapas sob a responsabilidade do diretor do projeto que geralmente pertence à mesma companhia. Em geral, não se requer de uma oferta formal por parte do executor nem de um contrato pois tanto o requerente quanto o projetista pertencem à mesma empresa, entretanto existe uma relação quase contratual entre as áreas de projeto e de produção.

Em algumas empresas pode haver departamentos tais como: projetos, produção, pesquisa e desenvolvimento que podem trabalhar em sincronia para a elaboração e execução dos projetos. É comum a contratação de engenheiros projetistas e consultores para apoiar o desenvolvimento desses projetos.

4.3.2. Por Contratação

É bastante comum que uma empresa requerente contrate os serviços de empresas especializadas na concepção e implantação de projetos. Neste caso, a empresa contratada prepara os estudos, plantas e especificações e os envia para a aprovação da empresa requerente.

É tarefa do engenheiro da empresa contratante analisar os documentos enviados pela contratada, colocar as suas observações, verificar se as informações são suficientes e necessárias e aprová-los cuidando que se cumpram as normas e exigências locais e verificando as possíveis interferências com outras obras ou sistemas de produção. Deverá verificar também se os métodos de trabalho previstos são compatíveis com os costumes e leis do trabalho e com as normas de segurança e higiene industrial.

Os contratos podem ser de remunerados de duas formas: por valor fixo ou por horas-projeto. Quando é por valor fixo a empresa contratada tende a tentar maximizar os seus lucros reservando o menor número de horas possível para o projeto (pode resultar em lacunas e especificações incorretas). No segundo caso, a



tendência é de aumentar o número de horas (pode resultar na especificação de detalhes desnecessários).

Os planos dos detalhes correspondentes aos equipamentos e instalações produtivas devem ser verificados quanto a fácil operação, manutenção, reparação e a possibilidade de manutenção e fabricação local das ferramentas e peças de desgaste.

Na realização do projeto o engenheiro responsável da empresa contratante deverá participar das seguintes tarefas:

Descrição das necessidades.

Supervisão dos estudos de mercado, seleção dos processos, estimativa de custos, justificativa econômica, etc.

Preparação das especificações gerais, aprovação das linhas gerais do projeto, elaboração do plano de contratações, seleção das empresas candidatas com base nas ofertas ou na qualidade do trabalho requerido e a possibilidade concreta de conclusão nos prazos previstos e ao preço mais conveniente.

Uma vez selecionada a empresa contratada deverá se debruçar junto com os engenheiros projetistas da mesma para o planejamento do projeto, a redação dos contratos e o registro dos mesmos.

Depois de contratado o projeto deverá se encarregar da aprovação ou correção dos planos e das informações técnicas que a contratada irá elaborar assim como da supervisão das aquisições de materiais e equipamentos e da execução da obra.

Se houver mais de uma empresa contratada, deverá coordenar as atividades entre elas.

No final do projeto, deverá efetuar a recepção da obra prévia verificação do cumprimento das especificações e garantias, fazendo a entrega da mesma ao departamento de produção.

4.3.3. Por Desenvolvimento Compartilhado

Com certa freqüência e em especial nos processos de manufatura a engenharia da parte produtiva do projeto é desenvolvida pelos fornecedores da instalação ou dos equipamentos de produção. Nestes casos, a contratante realiza o restante do projeto incluindo:

A recopilação e fornecimento dos dados e da informação para a elaboração dos projetos dos equipamentos de produção e complementares.

O projeto dos edifícios e a sua disposição no terreno.

O projeto dos serviços gerais.

O projeto das instalações auxiliares e complementares.

Isto se justifica especialmente quando as normas e regulamentações oficiais vigentes na zona de implantação não são as mesmas que na região ou país de origem do projeto dos equipamentos de produção, como também geralmente não



são os materiais usualmente utilizados na execução das obras que compõem o projeto.

Às vezes acontece que uma empresa desenvolve um novo método de fabricação em uma planta piloto, porém não dispõe de um departamento apropriado para desenvolver o projeto completo de uma planta de produção em todos os seus detalhes. Daí surge a necessidade de contratação de uma empresa terceira para realizar o projeto. Neste caso, o engenheiro de projeto da parte contratante desenvolve o projeto do equipamento de produção ou o seu anteprojeto enquanto que a empresa contratada completa o projeto dela e dos demais componentes.

4.4. A Contratação dos Projetos

Quando o projeto não se desenvolverá pela própria empresa, se contratará total o parcialmente uma ou mais empresas contratadas devendo se redigir um contrato a ser assinado pelas partes.

Existem vários tipos de contratos e suas variantes, podendo considerar como básicos os seguintes tipos:

Global ou por monto fixo.

Por preço unitário.

Por reembolso dos custos mais a remuneração.

Nesses três tipos podem ser estabelecidos prêmios e penalidades baseadas no tempo de execução, garantia de produtividade, qualidade e outros.

4.4.1. Contratos por Preço Global ou Monto Fixo

Este tipo de contrato é aplicável quando se dispõem de especificações completas, plantas preliminares e desenhos bem definidos. Em geral se aplica quando a forma de execução inclui o projeto, execução e posta-em-marcha ou bem quando se contrata o próprio fornecedor de um equipamento.

As ofertas são solicitadas às empresas candidatas que apresentem grande experiência tipo de projeto proposto. Os engenheiros da empresa contratante se limitam a analisar e aprovar as propostas das empresas candidatas.

Este tipo de contrato apresenta como vantagens a possibilidade de conseguir um preço reduzido pela concorrência entre duas ou mais empresas candidatas e pela redução do tempo de execução pela sobreposição das tarefas de projeto e execução quando são executadas pela mesma empresa.



As desvantagens podem aparecer quando faltam algumas definições que podem resultar em preços finais mais elevados ou existe a possibilidade que a contratada suprima algumas facilidades que não estiverem especificamente solicitadas.

Esses contratos exigem uma cuidadosa análise das ofertas e uma trabalhosa redação dos seus termos.

4.4.2. Contratos por Preço Unitário

Este tipo de contrato se aplica nos casos em que o projeto não pode ser delimitado com exatidão, no entanto, pode ser definido de forma qualitativa. Em geral são casos de ampliações ou modificações de sistemas já construídos. As ofertas são solicitadas por preços unitários a empresas candidatas de confiança que possam assegurar a qualidade e o cumprimento dos prazos estipulados.

As vantagens resultam em que a execução pode começar antes de finalizar a engenharia do projeto e de ter uma idéia exata do mesmo. Os termos de remuneração podem ser bem definidos no caso em que o contrato especifique os índices de avaliação do desempenho.

As desvantagens são de requerer um acompanhamento mais próximo por parte dos engenheiros da contratante e uma inspeção para a permanente avaliação do transcorrer do projeto. Outra desvantagem é o grande potencial de cometer erros graves na estimativa dos custos finais da obra.

4.4.3. Por Reembolso dos Custos mais a Remuneração

Este tipo de contrato é aplicável quando a obra deve ser executada de forma urgente, quando o projeto não está bem definido qualitativamente e nem quantitativamente pela sua própria natureza, ou quando existem riscos que não podem ser estimados.

Para este tipo de contrato a contratante deve dispor de um departamento técnico adequado para controlar a obra e supervisioná-la de forma constante. Em geral é o caso de modificações em instalações já existentes que inclui a reparação de danos que podem estar ocultos. Também é usado quando o projeto deve ser executado imediatamente, sem tempo de pedir uma cotação prévia e se conhece a boa reputação da empresa contratada.

As vantagens resultam da possibilidade de iniciar o projeto de imediato sem perda de tempo da preparação de solicitação de cotação, espera das propostas,



análise das mesmas e a discussão dos contratos. A desvantagem principal é que a contratante não tem idéia certa do custo final do projeto e que pode não existir por parte da contratada, interesse na otimização da aplicação dos recursos, no caso, tempo e dinheiro, obrigando à contratante a um rígido controle dos tempos, custos e a efetuar uma detalhada supervisão técnica.

4.5. Prêmios e Penalidades

Em alguns contratos é freqüente existirem cláusulas definindo prêmios e penalidades, comumente nos projetos que são por monto fixo, que se aplicam tanto para o tempo de execução tanto quanto à garantia da produção, rendimento e qualidade. No entanto, a aplicação dessas cláusulas é bastante difícil de aplicá-las e até de defini-las.

4.5.1. Cláusulas de Penalidades para a Garantia do Tempo Máximo de Execução

Essas cláusulas se incluem quando se deve minimizar o tempo de execução como é o caso de projetos que precisam interromper o funcionamento de um sistema de produção existente e em operação até que finalize a execução do projeto contratado; como nas reformas e ampliações de estações produtivas em operação; quando o contratante aceitou o compromisso de entrega com os seus clientes antes da iniciação do projeto, ou quando por alguma questão de mercado existe urgência em colocar a produção à venda no menor tempo possível.

Neste tipo de projetos é possível calcular com certa facilidade o lucro cessante por atraso na finalização e com base nesses valores podem-se estabelecer os prêmios e as penalidades. Algumas desvantagens são:

Discussões contratuais difíceis de chegar a um acordo ao considerar as causas de força maior.

Quando o contratante se vê forçado a aceitar pioras na qualidade da execução do projeto se o tempo tende a se estender além do previsto.

Quando a execução exigir controles permanentes por parte do contratante.

Frequentemente quando existem demoras, a aplicação das penalidades é muito discutível e não aceitas pela contratada às vezes acabando nos tribunais de justiça.

4.5.2. Cláusulas de Penalidades para a Garantia da Qualidade

Essas cláusulas se adotam quando a empresa contratante precisa de uma produção mínima determinada e uma qualidade bem especificada. Essas



penalidades - seja pela qualidade, produção de produtos elaborados, pela garantia de rendimento energético ou confiabilidade de um serviço - são em geral de mais fácil aplicação sempre e quando as formas de controle, medição e tolerâncias tenham sido bem definidas no contrato. A principal vantagem que oferecem esse tipo de cláusula é que a empresa contratada terá mais cuidado em elaborar uma engenharia de projeto com melhor qualidade.

4.5.3. Outras Cláusulas

Todo contrato deve conter um número mais ou menos elevado de temas técnicos, administrativos e legais. Dentre os primeiros não deve se omitir a inclusão do alcance e objeto do contrato, ponto que deve ser bem detalhado já que é de grande importância, em especial quando é por montante fixo. A falta de clareza ou na redação incompleta costuma provocar discussões graves e prolongadas.

Quando se tratar de contratos que incluam equipamentos, não deve se omitir a obrigação de fornecer: a lista de peças de reposição; dos manuais de operação, manutenção e reparação; plantas do conjunto, subconjuntos e lista de materiais; planos completos das ferramentas e peças de desgaste para fabricação local; atualização de softwares; treinamentos, etc.

No que se referem às garantias, devem se incluir:

Garantia da produção: Qualidade de fabricação, garantia de rendimento ou consumos específicos e descrição das normas de verificação a serem aplicadas.

Garantia dos equipamentos: garantias dos equipamentos e materiais contra falhas de fabricação que cobra um determinado período de tempo mínimo de operação.

Garantia da engenharia ou do desenho: pela qual poderá se corrigir a custos da empresa contratada, qualquer erro de projeto.

Garantia de instalação e operação: Se o contrato incluir a instalação, devem se garantir também os erros de montagem e de posta-em-marcha.

Garantia do Prazo de Execução ou Entrega: para fixar este prazo deve ser incluído o prazo da contratante para fornecer os dados básicos para o projeto, o tempo da aprovação do setor de engenharia da contratante e o fiel cumprimento das condições de pagamento que por ventura venham a se definir.

As obrigações da empresa contratada: dentre as várias obrigações pode se incluir a designação de um representante responsável da contratada que vai residir



na obra e a especificação da apresentação periódica de relatórios do desenvolvimento do projeto.

Objeto, alcance, responsabilidades e faculdades do responsável pelo projeto e a inspeção das obras pela contratante: devem se estabelecer a forma em que serão efetuadas as “ordens de serviço” por parte da contratante e a forma em que efetuarão as mudanças de projeto.

Para evitar inconvenientes posteriores, na discussão dos aspectos técnicos, será necessária a participação dos responsáveis do projeto tanto pela parte da contratada quanto a contratante.

No que se refere aos aspectos legais e administrativos não deve se omitir:

A conviência do tipo de contrato.

O preço, termos e condições de pagamento assim como a forma e o tempo de faturamento.

Os limites das responsabilidades das partes.

As cláusulas para o aumento dos custos ou a implementação de ajustes.

A definição clara das causas de força maior.

As obrigações e a cobertura de seguros.

Os relatórios sobre o avanço e sobre os investimentos do projeto com relação aos compromissos de pagamento.

Os subcontratos, aditivos, responsabilidades e autorizações.

As ações no caso de atrasos na execução e finalização da execução do projeto.

As arbitragens ou comarcas judiciais no caso de litígios e leis a serem aplicadas.

4.6. A Classificação dos Projetos

Podem ser definidos vários critérios de classificação. Nesta seção classificaremos os projetos pela sua natureza, pela sua origem e pelo seu campo profissional.

4.6.1. Pela sua Natureza

Pela sua natureza, os projetos podem ser classificados em primários, de serviços e de manufatura, veja as definições de cada tipo a seguir.

Projetos Primários: são os de extração e exploração das matérias primas: mineração, agropecuária, pesca e florestal.

Projetos de Serviços: os dedicados à exploração ou prestação de serviços: transportes, energia, comunicações, água, esgotos, etc.



Projetos de Manufatura: compreendem a transformação das matérias primas, atividades fabris de qualquer tipo e a elaboração de produtos em geral.

4.6.2. Pela sua Origem

Pela sua origem, os projetos podem ser classificados como originados de estudos setoriais, de programas de desenvolvimento econômico, de aproveitamento dos recursos naturais, de desenvolvimento social, político ou estratégico ou de estudos de mercado. Veja as definições de cada tipo a seguir.

Projetos que derivam de estudos setoriais: correspondem a projetos para determinados setores da economia tais como a agroindústria, indústrias têxteis, transportes, etc.

Projetos que derivam de um programa de desenvolvimento econômico: de natureza composta englobando pólos de desenvolvimento ou pólos geográficos, constituído de vários projetos que se vinculam por fatores técnicos que se complementam.

Projetos para aproveitamento de recursos naturais: como os de extração de minérios, usinas hidrelétricas e outros.

Projetos de origem social, político ou estratégico: surgem por razões de estado ou urgência nacional, militar, problemas de desocupação, pressões políticas e sociais, catástrofes naturais, etc.

Projetos que derivam de estudos de mercado: podem ser objetivados nas seguintes áreas:

Mercado de exportação: de produtos locais disponíveis em abundância como pode ser o caso de minérios e os produtos agropecuários, artesanatos, etc. De produtos gerais, para competir no mercado internacional que possam ser produzidos em abundância e/ou com extrema qualidade, como é o caso dos produtos industrializados.

Substituição de importações: para a substituição de bens e serviços importados.

Crescimento da demanda interna: geralmente depende do crescimento da população, melhoria das condições de vida ou mudanças nos hábitos de consumo.

Demanda insatisfeita: devido ao estancamento das fontes de produção.

Substituição da produção artesanal pela fabril: em aqueles produtos que não constituem um mérito regional, permitindo o aumento da produtividade.

4.6.3. Pelo seu Campo Profissional

Os projetos podem ser classificados pelo campo profissional que cujas atividades compreendem, assim, podem se ter projetos econômicos, políticos,



administrativos, e de engenharia. Dentro desses últimos temos os projetos de engenharia civil, mecânica, elétrica ou química, segundo a especialidade que domine os processos correspondentes.

5. A ENGENHARIA DE PRODUTO

A Engenharia de Produto é um caso especial de Projeto de Engenharia. A nossa sociedade depende da tecnologia e nos anos recentes, o seu rápido desenvolvimento forneceu muitos benefícios, com o conseqüente aumento de problemas associados. No planejamento de futuros desenvolvimentos, o grande objetivo dos engenheiros é de aumentar os benefícios e reduzir os problemas. Muitas opções são possíveis para atingir os objetivos, e muitas decisões deve ser tomadas em diferentes níveis, desde decisões amplas tomadas por várias pessoas até as decisões detalhadas tomadas por um único indivíduo. As decisões de alto nível influenciam às de baixo nível, porém independente do nível em que a decisão seja feita, ela dependerá de previsões e critérios. A seleção do melhor curso de ação em qualquer situação é difícil e depende da informação disponível e do ponto de vista de quem toma decisão. As fases fundamentais na vida de um produto podem ser vistas na Figura 5-1.

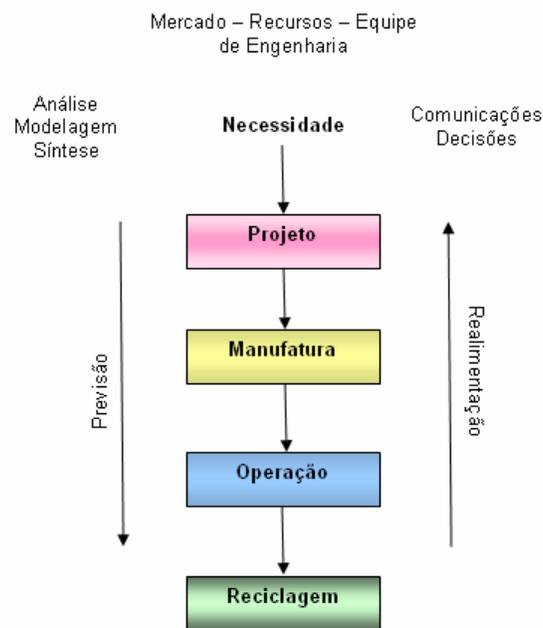


Figura 5-1 – Ciclo de vida de um produto

A proposta de um produto, por exemplo, uma nova *mountain bike* para o **mercado** do lazer, pode resultar de uma boa idéia, de um novo desenvolvimento tecnológico ou de uma pesquisa de **necessidades** de mercado. Para tornar a proposta num produto concreto, uma **equipe de projeto** deve ser formada para executar a complexa seqüência de atividades necessárias para definir o que será feito. Essa equipe deverá ser atendida com os **recursos** suficientes, incluindo



financiamentos, instalações, ferramentas e informações para que a tarefa possa ser completada dentro do tempo requerido.

O progresso depende das **decisões** tomadas antes de durante o estágio de **projeto** com o objetivo de assegurar que o produto proposto será **econômico de fabricar**, terá a confiabilidade e **segurança** estabelecidas, econômico na sua **operação** e capaz de ser **reciclado** no fim da sua vida útil. As decisões dependem na qualidade das previsões feitas durante o processo do projeto e todos os métodos do projeto terão como objetivo melhorar a exatidão dessas previsões. Para fazer as previsões os engenheiros de produto usam a síntese para gerar tantas soluções quanto possíveis e então modela-las para que se tornem uma realidade. É muito difícil conseguir todas as funcionalidades propostas para o projeto na primeira tentativa, e normalmente é necessário um programa final de otimizações e melhorias.

As informações obtidas de especialistas dos mais variados campos podem ser usadas durante o processo do projeto. Às vezes é necessário montar equipes multidisciplinares, introduzindo muitos problemas de comunicação. A contínua realimentação de todas as fases do projeto de produto fornece informações essenciais para melhorar o produto. Eventualmente, a pesar das atualizações, o produto poderá ficar não econômico e a sua produção irá acabar. A pesar disso, a experiência de mercado e a realimentação dos usuários estimularão novas idéias e necessidades de mercado e o ciclo irá se repetir. Um exemplo é o desenvolvimento contínuo de modelos de bicicletas.

Na prática, a criação de um produto é muito mais complicada que o processo indicado na Figura 5-1 e os produtos envolvem a variável tempo. As atividades centrais de engenharia do projeto e da manufatura são efetuadas são assistidas por outros setores das empresas tais como o marketing, pesquisa e desenvolvimento, qualidade e vendas, e a importância relativa de cada uma depende de cada empresa.

A estratégia geral para enfrentar tarefas complexas é a de quebrá-las em partes pequenas, em problemas gerenciáveis e então resolver um problema de cada vez. Para fazer isso é muito útil usar um modelo para a solução de problemas, uma estrutura e algumas recomendações para o gerenciamento do projeto.

Os processos de projeto e de manufatura dependem do tipo de mercado a ser considerado e do projeto em particular, e por isso é difícil de ser definido de forma precisa. Apesar disso, é bastante útil conhecer algumas definições amplas que podem ajudar na organização da engenharia de produto:

O projeto de engenharia é o processo de converter uma idéia ou uma necessidade de mercado em uma informação detalhada (instruções de fabricação) a partir das quais o produto pode ser construído.

A engenharia de manufatura é o processo de converter a informação detalhada em componentes físicos e de montar esses componentes em um produto ou sistema.

O objetivo é produzir o melhor produto, com o mínimo custo e no menor tempo. Os mercados são raramente estáticos e algumas das pressões que esses apresentam aos engenheiros projetistas são os seguintes:

Competição intensa: a competição internacional está se intensificando, e novos produtos que oferecem melhores valores aos consumidores estão continuamente aparecendo no mercado. Isso é alimentado pelas expectativas dos consumidores e levam à diminuição do intervalo de tempo de substituição de um produto antigo pelo novo, para poder manter as vantagens competitivas.

Mudança das tecnologias: a tecnologia muda muito rapidamente com o novo conhecimento, e com a disponibilidade de novos materiais e processos.

Aumento da complexidade: os produtos e sistemas tendem a ficar cada vez mais complexos.

Maior responsabilidade: existe um aumento na preocupação com o indivíduo e com a segurança ambiental, e um rápido crescimento das leis sobre a confiabilidade e segurança dos produtos.

Os processos de projeto e manufatura devem responder a essas pressões através de estruturas claras e visíveis para as atividades e pelo uso das técnicas mais atualizadas, e para isso se recomenda a adoção de um método sistemático.

Neste capítulo trataremos sobre as principais fases do processo da engenharia de produto, investigaremos por que a especificação do projeto de produto é vitalmente importante no processo do projeto e veremos alguns métodos conceituais que podem ser usados para gerar novas idéias.

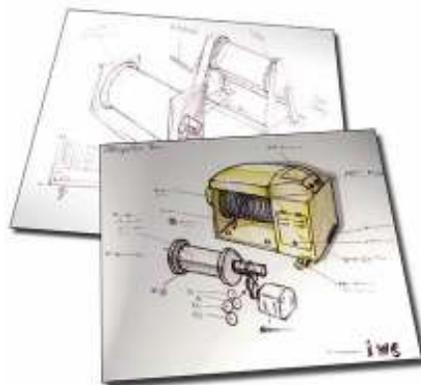


Figura 5-2 – A engenharia de produto

5.1. A Solução do Problema

A estratégia geral para resolver um problema difícil é a redução da sua complexidade pela partição em pequenos, mas gerenciáveis, subproblemas. Cada



subproblema pode ser enfrentado de forma mais ou menos independente, sempre tendo em mente as ligações entre os mesmos. Finalmente, as soluções individuais devem ser combinadas para produzir a solução geral para o problema. Um modelo para a solução de problemas é mostrado na Figura 5-3.

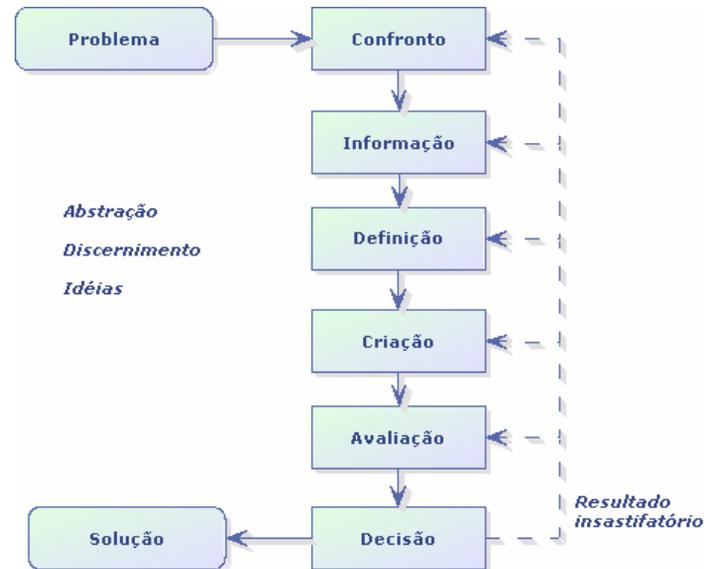


Figura 5-3 – Modelo do processo de solução de problemas

Um problema deve ser identificado antes de ser resolvido. Uma vez identificado, é bastante útil verificar se é realmente o problema. É uma perda de tempo e de esforço produzir uma solução extremamente elegante para o problema errado. Uma vez identificado problema central, ele deve ser enfrentado imediatamente, i.e., não deixá-lo de lado para enfrentá-lo mais tarde. Isto é, de fato, um dos aspectos mais difíceis na solução de problemas; é muito fácil abandonar um problema antes de conhecê-lo mais a fundo e descobrir as possibilidades de solução. Os próximos dois estágios envolvem a pesquisa de tanta informação for possível sobre o problema e então assegurar que o problema está claramente **definido**. O processo da **abstração** pode ajudar nesses estágios. A abstração é uma de várias técnicas disponíveis para melhorar o **discernimento** do problema. Então é necessário criar a mais ampla faixa possível de soluções. Neste estágio, as técnicas para aumentar o número de idéias são de particular importância. Tendo gerado uma grande variedade de opções, essas devem ser avaliadas de forma que alguma decisão possa ser tomada. Se em qualquer estágio o resultado for insatisfatório, os estágios anteriores deverão ser repetidos, ou o problema deverá ser abandonado sem uma solução.

Ter idéias é uma parte essencial da solução de problemas e o número de idéias pode ser aumentado da seguinte forma:

evitando ser crítico, isto é, não descartando idéias aparentemente inúteis de forma imediata;

introduzindo algum senso de humor, que ajuda a gerar idéias não usuais;

usando o “efeito de grupo”, onde uma idéia produzida por um membro do grupo dispara outras idéias nas mentes dos outros.

O objetivo é executar a atividade de solução de problemas tão eficientemente e efetivamente quanto possível, para poder tomar as decisões corretas. O progresso no projeto envolve em tomar as melhores decisões para um grande número de problemas, sendo o processo do projeto referido como sendo uma “**atividade iterativa de atividades de tomada de decisão**”. A Figura 5-4 mostra a natureza hierárquica das decisões e enfatiza no fato que todas as decisões estão baseadas na exatidão das **previsões** e na qualidade dos **critérios** utilizados.

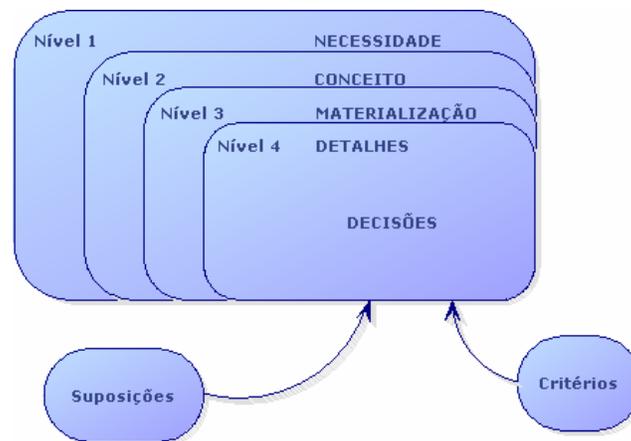


Figura 5-4 – Base das decisões

Os problemas de projeto são frequentemente descritos como sendo “abertos”. Assim, isso significa que eles não têm solução única, e nem sempre uma solução é claramente melhor que as outras. Muitas soluções devem ser desenvolvidas antes que as melhores possam ser escolhidas pela avaliação das mesmas com os critérios escolhidos. Isso é um processo iterativo e envolve muitos laços de realimentação enquanto a informação é atualizada e tanto os critérios e soluções são melhorados.

Através do processo de solução de problemas é importante constantemente olhar para a frente para assegurar que as soluções que estão sendo desenvolvidas são capazes de serem realizadas na prática. Muitos conceitos excelentes têm sido abandonados por não ser viáveis na prática. Algumas recomendações úteis de ter em mente quando se considera o fator prático de uma solução, é de sempre manter a **simplicidade** e a **clareza**. O projeto mais simples que atender os requisitos é usualmente o melhor de todos, e todas as funções devem ser claramente definidas e executadas.



5.2. O Projeto de Produto

O projeto é o processo pelo qual as necessidades dos consumidores ou do mercado de trabalho são transformadas em um produto que as satisfaz. Essa tarefa é usualmente executada por um engenheiro projetista, mas requer da ajuda de outras pessoas da empresa.

O projeto é essencialmente um exercício de solução de problema. Tipicamente, o projeto de um novo produto consiste das seguintes fases: o anteprojeto, a especificação do produto, o projeto conceitual e o projeto detalhado (Figura 5-5).

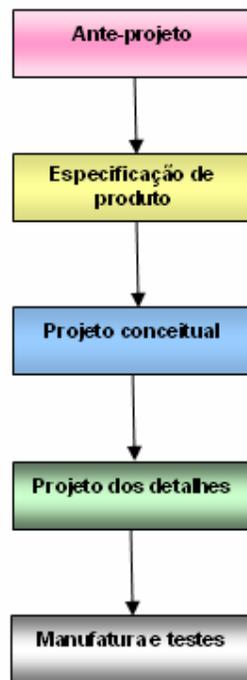


Figura 5-5 – Fases do projeto de produto

O desenvolvimento de um novo produto requer do desenvolvimento de um protótipo para comprovar que a nova tecnologia funciona antes de aplicar os recursos a uma produção de grande escala.

Uma visão tradicional das atividades de projeto até a manufatura é na forma de um processo seqüencial, onde depois de finalizar uma fase, se passa para a próxima. Isso tende a provocar uma iteração no projeto, i.e., tem-se que voltar atrás para corrigir um eventual erro de uma fase anterior. Isso pode deixar o produto mais caro e atrasar a sua saída no mercado. Um método mais apropriado é que o engenheiro projetista considere os próximos estágios do projeto antes de finalizar os primeiros, tentando eliminar qualquer problema potencial. Isso



significa que o projetista vai precisar de ajuda de outros especialistas da empresa, por exemplo, do especialista do setor de manufatura para ter assegurado que qualquer projeto poderá ser construído de forma eficiente e economicamente viável.

Quais são os fatores que o engenheiro de produto deve levar em conta para eliminar a iteração?

Manufatura: O produto pode ser feito com as nossas instalações?

Vendas: Estamos produzindo um produto que o consumidor precisa?

Compras: Há peças específicas no estoque ou têm que ser solicitadas ao fornecedor?

Custo: O projeto está ficando caro demais?

Transporte: O produto tem o tamanho ideal para o método de transporte?

Disposição: Como o produto será armazenado, destruído ou eliminado após o seu tempo de vida?

O Resumo de Projeto

O resumo de projeto tipicamente estabelece uma intenção, por exemplo, “nós projetaremos e construiremos um carro de Fórmula 1”. Embora o problema fique estabelecido, não há ainda suficiente informação para iniciar o projeto.

A Especificação de Projeto de Produto (EPP)

Este é possivelmente o estágio mais importante do processo do projeto e ainda um dos últimos compreendidos. É importante que antes de produzir uma solução haja um verdadeiro entendimento do problema atual. A especificação do produto é um documento que coloca o problema nos seus detalhes. É importante trabalhar com o cliente e analisar o mercado para produzir os requisitos necessários para produzir um produto de sucesso. O engenheiro projetista deve constantemente revisar esse documento para assegurar que o projeto está adequado.

Para produzir uma especificação de projeto de produto é preciso pesquisar o problema e analisar os produtos concorrentes. Todos os pontos e descobertas importantes devem ser incluídos na especificação do seu produto.

O Projeto Conceptual

Usando como base a especificação do produto, o engenheiro tenta produzir um esquema da solução. Um projeto conceitual é usualmente um resumo dos componentes e as suas relações com detalhes deixados para um estágio posterior. Por exemplo, um projeto conceitual de um veículo pode consistir de um desenho a mão-livre mostrando um veículo com quatro rodas e um motor montado na frente do mesmo. Os detalhes exatos dos componentes tais como o diâmetro das rodas ou o tamanho do motor serão determinados no estágio do projeto dos detalhes. Apesar



disso, o grau de detalhes gerado no projeto conceitual varia dependendo do produto que está sendo projetado.

É importante que enquanto estiver projetando um produto, além das considerações das especificações do mesmo, você deverá também considerar as atividades posteriores à do projeto, i.e., as atividades de manufatura, vendas, transporte, etc. Considerando esses detalhes desde cedo, você pode eliminar os problemas que possam ocorrer posteriormente.

Este estágio do projeto envolve o desenho de um número de concepções diferentes que satisfazem os requisitos do produto estabelecido na especificação, sendo as soluções propostas avaliadas para decidir qual é a mais apropriada. O projeto conceitual pode ser dividido em dois estágios, a geração conceptual e a avaliação conceptual.

A geração conceptual: Tipicamente, os projetistas capturam as suas idéias pelo desenho no papel (ou no computador). As anotações ajudam a identificar os pontos principais das suas idéias de maneira que elas possam ser comunicadas a outros membros da empresa. Existem várias técnicas disponíveis para ajudar ao desenvolvimento de novos conceitos. Uma delas é o *brainstorming*, que já foi comentado em capítulos anteriores.

A avaliação conceptual: Depois de ter gerado um número apropriado de novos conceitos, é necessário escolher a concepção mais apropriada que preencha os requisitos das especificações. Essas especificações devem ser usadas como base para qualquer decisão que tenha que ser tomada. Idealmente uma equipe multidisciplinar deverá efetuar esta tarefa de forma que cada concepção seja avaliada de vários ângulos e perspectivas. A concepção escolhida deverá então ser desenvolvida em detalhe. Uma técnica útil para avaliar concepções para decidir qual delas é a melhor, é o uso da técnica chamada “matriz de avaliação”.

A matriz de avaliação consiste em uma tabela onde são listadas as características mais importantes requeridas para o produto, normalmente extraídas das especificações. As diferentes concepções são colocadas nessa na tabela. O primeiro conceito é o conceito ideal ou desejado a ser usado como referência. Os outros conceitos vêm a seguir e são classificados com relação ao primeiro. A qualidade das outras concepções é comparada contra a de referência, para ajudar a identificar se a concepção é melhor, pior ou igual que a concepção de referência. A concepção que projeto que se mostrar melhor que a referência deverá ser a escolhida.



Muitos engenheiros que usam a técnica da matriz designam pontos no lugar de usar simplesmente as palavras melhor, pior ou igual, de forma a facilitar a identificação das concepções melhores. A técnica do uso de pesos de avaliação é apropriada quando algumas das características do projeto são mais importantes do que outras.

O Projeto dos Detalhes

Neste estágio do processo de projeto, a concepção escolhida é projetada em detalhes com todas as dimensões e especificações necessárias que permitam fazer o desenho detalhado do produto.

Neste estágio pode ser necessária a produção de protótipos para testar idéias. O engenheiro projetista deverá trabalhar de perto com o setor de manufatura para assegurar que o produto pode ser construído.

5.3. A Gestão das Atividades do Projeto de Produto

A gestão de um projeto envolve as seguintes atividades:

- Estabelecimento dos objetivos
- Planejamento
- Comunicação dos planos
- Monitoração e controle dos planos de execução
- Revisão dos resultados

Podem ser definidas as atividades básicas para uma estabelecer uma estrutura baseada no modelo de desenvolvimento de produto mostradas na Figura 5-6. A gestão pode ser dividida em três níveis diferentes de gerenciamento: gerenciamento sênior, gerenciadores de projeto e gerenciadores de desenho ou design.

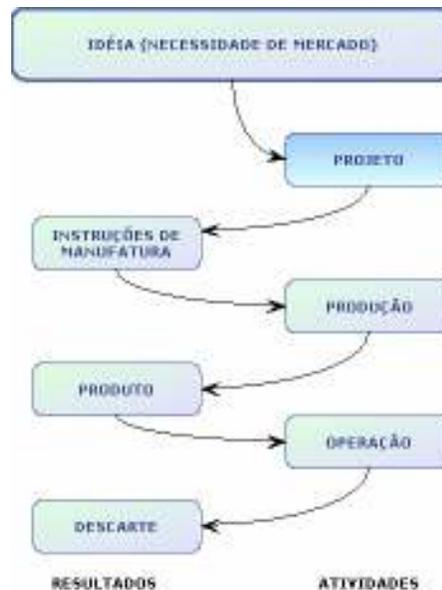


Figura 5-6 - Ciclo de desenvolvimento de produto

5.4. Da Descrição Funcional para a Transformação Física

A atividade central do engenheiro de projeto de produto é a conversão de um conjunto de **requerimentos técnicos** em um conjunto de **instruções de fabricação**. O ponto central dessa atividade é a transformação a partir de uma **descrição funcional** do produto proposto ou sistema para uma **descrição física** (Figura 5-7). No início de qualquer projeto, o produto proposto é descrito em termos de um conjunto de funções que ele deve atender. Uma *mountain bike*, por exemplo, deve transportar o ciclista através de terreno áspero e difícil, da forma mais segura e confortável quanto possível. Para alcançar isso deverá se alcançar um grande número de funções técnicas incluindo: transportar energia mecânica para a transmissão, usar engrenagens variáveis, suspensões, freios, sistemas de direção, assegurar a resistência mecânica adequada, fácil manutenção, etc. Todos esses requisitos devem ser satisfeitos de forma que a bicicleta resultante seja econômica de fabricar e robusta para ter uma vida útil razoável, tendo em mente o seu tipo de uso. A lista de funções pode ser estendida grandemente, mas o ponto chave é que nenhuma menção foi feita no sentido de como essas funções serão satisfeitas. A finalização dessas transformações é uma atividade extremamente complexa de processamento de informação.

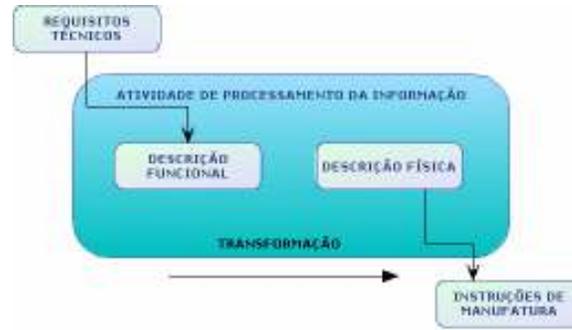


Figura 5-7 – Da descrição funcional para a transformação física

Todos os sistemas técnicos podem ser modelados em termos de fluxos e conversões de matéria, energia e informação (sinais). Esse modelo funcional deve ser mapeado na estrutura de um sistema técnico, como mostra a Figura 5-8.

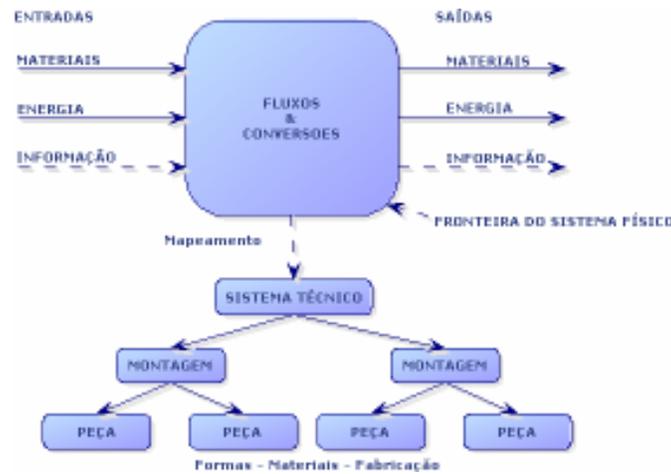


Figura 5-8 – Estrutura de um sistema técnico (produto)

Todos os sistemas técnicos exibem a mesma estrutura hierárquica. A *mountain bike* representa o **sistema técnico** (produto) que usa ações físicas para manipular o fluxo de matéria, energia e sinais. O sistema pode ser dividido em um determinado número de **montagens**, por exemplo, o quadro, barras da direção, pedais, freios, engrenagens, etc. Cada montagem pode ser dividida novamente em **peças** individuais, tais como rolamentos, engrenagem da corrente, cabos de freio, etc. Cada peça especialmente fabricada e os seus componentes relacionados devem ser



Figura 5-9 – Modelo do processo de projeto



montados juntos usando as técnicas apropriadas de juntas e acoplamentos, que na sua vez quando conectadas às outras, compõem o produto final.

5.5. O Processo do Projeto de Produto

Na linha da estratégia geral de dividir os problemas complexos, o processo do projeto é dividido em um determinado número de fases principais onde cada fase é dividida em um determinado número de passos. Recomenda-se usar algum tipo de método para ajudar a destrinchar cada passo.

É importante dizer que este método sistemático deve ser aplicado de forma flexível e deve adaptado para cada projeto em particular. O método não tem como objetivo substituir a intuição, inventividade ou o discernimento, mas em vez disso, auxiliar e melhorar essas qualidades disciplinando o pensamento e ajudando a focalizar a concentração nos aspectos importantes do problema.

As quatro fases principais do processo do projeto são mostradas na Figura 5-5. Notar que a entrada e a saída deste processo são consistentes como uma expansão das atividades de projeto mostradas na Figura 5-6.

Cada uma dessas fases será resumida a seguir. Os conceitos de Esclarecimento das Tarefas e o Projeto Conceptual serão descritos posteriormente em mais detalhe.

O Esclarecimento das Tarefas. O ponto de partida do processo de projeto é uma idéia ou uma necessidade de mercado. Antes de continuar com as fases subseqüentes do projeto é importante esclarecer as tarefas pela identificação dos verdadeiros requisitos e condicionantes. O resultado dessa fase é a **especificação do projeto de produto** que é o documento principal que deverá ser continuamente revisado e atualizado assim que o projeto se desenvolve.

O Projeto Conceptual. Nesta fase, devem ser gerados os conceitos que melhor atendam os requisitos listados nas especificações de projeto. O conjunto geral de inter-relações funcionais deve ser considerado e combinado com as características preliminares de materialização. O resultado desta fase é o desenho conceptual.

A Materialização. Nesta fase, as fundamentações são evidenciadas para o projeto dos detalhes através de um desenvolvimento estruturado do conceito. No caso de um produto mecânico, o resultado desta fase pode ser o desenho esquemático que mostra as formas preliminares de todos os componentes, o seu arranjo e se apropriado, os seus movimentos relativos.



O Projeto em Detalhe. Finalmente, nesta fase devem ser especificadas de forma precisa as formas, dimensões e tolerâncias de cada componente; e ainda deve ser feita a seleção ou confirmação dos materiais necessários. Existe uma forte relação entre a forma do componente, o seu material e o método proposto da sua fabricação. O resultado desta fase são as instruções detalhadas de fabricação. A fase de projeto em detalhe não é menos importante que as outras. Muitos conceitos excelentes têm falhado no mercado devido a falhas na atenção aos detalhes.

5.6. O Esclarecimento das Tarefas

Os passos necessários para o esclarecimento das tarefas são mostrados na Figura 5-10. A necessidade de mercado (ou idéia) é transformada em uma **especificação** pela identificação da “necessidade real” e definindo uma declaração do problema; refinando a declaração para identificar os requisitos que serão adicionados à especificação do produto.

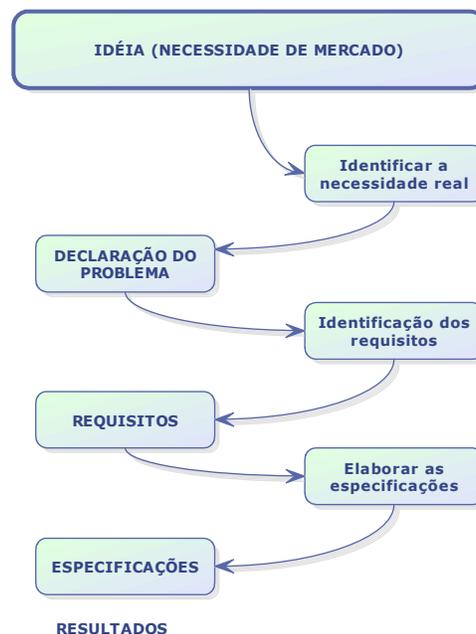


Figura 5-10 – Os passos do detalhamento das tarefas

5.6.1. A Identificação da Necessidade Real

Para evitar resolver o problema errado, é bastante sábio usar algum tempo para identificar as necessidades reais e preparar uma clara definição do problema que evite qualquer indicação de como o problema deve ser resolvido. Uma técnica útil é aumentar o nível de abstração de forma sistemática usando os seguintes passos:



Eliminar os requisitos que não influenciam diretamente nas funções principais e condicionantes essenciais.

Transformar as declarações quantitativas em qualitativas

Formular o problema em termos neutros.

A abstração amplia a faixa de soluções possíveis descritas pela definição do problema pela eliminação de condicionantes desnecessários. Isso também encoraja o projetista a pensar mais sobre o conceito geral e menos em características relacionadas com soluções específicas.

Como exemplo, considera a seguinte definição de um problema:

Projetar um cortador de grama tipo aparador de grama com faca helicoidal.

Esta definição do problema claramente indica a direção da solução pela sugestão do tipo de dispositivo e de como a grama deverá ser cortada. O tamanho do campo de soluções fica assim restrito desnecessariamente desde o início. Uma definição melhorada, num mais alto nível de generalidade é o seguinte:

Projetar um dispositivo que permita manter a grama curta.

Essa última definição define o problema na sua amplitude e promove a maior faixa de conceitos de solução possíveis.

5.6.2. A Identificação dos Requisitos

Tendo identificado o problema real é bastante sábio limitar o campo de pesquisas pela preparação de uma lista detalhada de todos os requisitos e condicionantes. Elas podem ser listadas com títulos parecidos aos que seguem:

| | | |
|------------------------|-------------|-----------------------|
| Geometria | Cinemática | Forças |
| Energia | Materiais | Sinais |
| Segurança | Ergonomia | Estética |
| Economia | Manufatura | Montagem |
| Segurança da Qualidade | Transporte | Operação/Ambiente |
| Manutenção | Cronogramas | Disposição/Reciclagem |

Quando possível devem ser usadas definições quantitativas. Por exemplo, “O peso não deverá exceder os 100 N” é muito melhor do que: “Baixo peso”. Isso parece ser contraditório com a eliminação das definições quantitativas durante a identificação das necessidades reais. Apesar disso, quando a necessidade real já tem sido identificada, as informações quantitativas são essenciais para comunicar os limites aceitáveis no desempenho do novo produto.

Nem todos os requisitos podem ser quantificados facilmente e nesses casos deverão ser envolvidas algumas decisões arbitrárias. Por exemplo, é difícil de



quantificar os fatores tais como aparência, facilidade de operação, etc. Uma solução ideal deve satisfazer todos os requerimentos, porém dificilmente será possível de ser implementada com os recursos disponíveis e os compromissos a ser assumidos. Para ajudar na seleção e avaliação, é útil identificar cada definição como sendo uma **Necessidade** ou um **Desejo**.

Necessidade – idealiza um requisito que **deve ser satisfeito**. Se a solução proposta falha em satisfazer uma **única** necessidade, então ele deverá ser rejeitado.

Desejo – idealiza um requisito que poderá melhorar o valor ou a qualidade de uma solução, i.e., desejável embora não essencial. É útil indicar o peso dos desejos como alto (A = 3), médio (M = 2) e baixo (B = 1).

A pesar de a idéia ser relativamente simples, na prática, a categorização dos requisitos em necessidades e desejos nem sempre é tão fácil. Pode ser uma demanda que certos requisitos menores sejam satisfeitos, por exemplo, por razões legais, e um desejo esses mínimos requerimentos sejam excedidos por certa quantidade, por exemplo, razões de marketing. A linha divisória pode ser difusa, porém o conceito é útil porque força o projetista a pensar sobre o status e a importância dos vários requisitos.

5.6.3. Elaborar a especificação

Os requisitos e condicionantes são mais bem compilados em uma descrição compreensiva, ou **especificação** do produto a ser desenvolvido. A especificação deve ser clara, correta e tão completa quanto possível. Ela deve listar todos os requisitos específicos do problema de tal forma que o leitor claramente perceba as tarefas a serem executadas para a elaboração do produto. As necessidades e desejos devem estar claramente identificados com uma palavra chave que identifique cada requisito.

Em teoria, desde que a solução deverá atender todas as necessidades, a seleção preliminar de muitas possíveis soluções estará baseada nas necessidades. Uma solução proposta que não satisfizer todas as necessidades não deverá permitir a continuação de atividades no estágio seguinte do processo do projeto. Somente as soluções que satisfazem todas as necessidades deverão ser avaliadas e selecionadas as melhores. Em teoria, o estágio de avaliação está baseado nos desejos. O objetivo é encontrar a solução com o mais alto valor agregado e melhor qualidade. A Tabela 5-1 mostra a primeira folha de especificações para um projeto de um cortador de grama.



| | | | |
|---------------------------------------|-------|---|----------------------------------|
| Fábrica de Equipamentos de Jardinagem | de de | Especificação de Projeto de Produto Projeto do Cortador de Grama | Data: 26/06/2005 Página: 1 |
| N/D | Peso | Requerimentos/Requisitos | Palavra chave |
| Geometria | | | |
| D | M | Tamanho máximo de armazenamento: 600 x 600 x 300 mm | Armazenamento |
| N | | Tamanho mínimo da extensão do corte: 300 mm | Extensão de corte |
| D | M | Altura de corte ajustável: 5 – 50 mm | Altura de corte |
| Cinemática | | | |
| D | A | Fácil de manobrar | Manobrabilidade |
| D | B | Velocidade de corte de 2 m/s | Velocidade de corte |
| Forças | | | |
| D | H | Peso não maior que 100 N | Peso |
| D | M | Força de movimento inferior aos 50 N | Força de movimento |
| D | M | Suportar uma queda em uma superfície dura da altura de 2 m | Robustez |
| Energia | | | |
| D | M | Consumo máximo de 1 kW | Potência |
| D | M | Fonte de energia: eletricidade | Fonte de alimentação |
| N | | Nível de ruído máximo de 85 dB | Ruído |
| Material | | | |
| D | B | Adequado para uma expectativa de vida de 5 anos | Vida |
| D | B | Não deve corroer durante o tempo de vida do produto | Corrosão |
| Sinais | | | |
| N | | Simples de ligar e desligar | Liga/Desliga |
| D | B | Indicação de quando o contêiner de armazenamento deve ser esvaziado | Indicação de Cheio |
| D | B | Instruções de manutenção na própria máquina | Instruções de manutenção |
| Segurança | | | |
| N | | Segurança elétrica de acordo com as normas UL e NBR | Segurança elétrica |
| N | | Nenhuma borda pontiaguda e sem pontos quentes | Segurança de manipulação |
| N | | Proteção das lâminas de corte | Proteção das lâminas |
| D | M | Desligamento elétrico automático | Auto desligamento |
| Ergonomia | | | |
| N | | Fácil de operar e controlar | Fácil operação |
| D | M | Ajuste da altura de corte em menos de 1 minuto | Ajuste do corte |
| D | A | Boa aparência | Aparência |

| Economia | | | |
|----------|---|--------------------------------------|-------|
| D | A | Preço de venda inferior a R\$ 150.00 | Preço |

5.7. Projeto Conceptual

Os passos do projeto conceptual são mostrados na Figura 5-11. Um conceito é desenvolvido a partir da especificação pela identificação dos requerimentos funcionais para o produto, gerando os conceitos possíveis e selecionando o mais promissor.

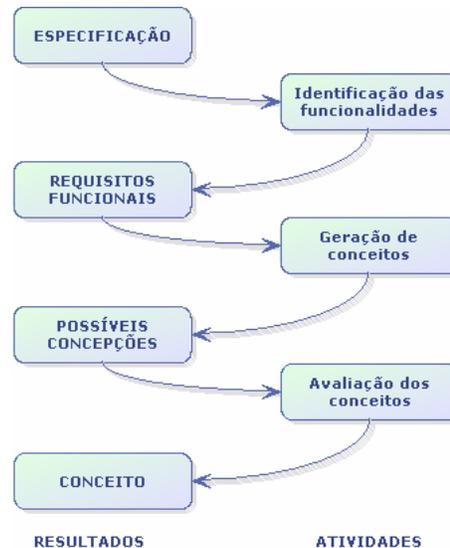


Figura 5-11 – Passos do projeto conceptual

5.7.1. A Identificação das Funções

Todos os dispositivos técnicos devem ser analisados em termos de fluxo conversão de **matéria**, **energia** e **informação** (sinais) dentro dos limites do sistema. O primeiro passo é identificar a função geral. A função geral aparece diretamente da definição do problema. Para o cortador de grama, a função geral pode ser:

Cortar grama

Esta função geral, junto com as suas correspondentes entradas e saídas, podem ser vistas na Figura 5-12.

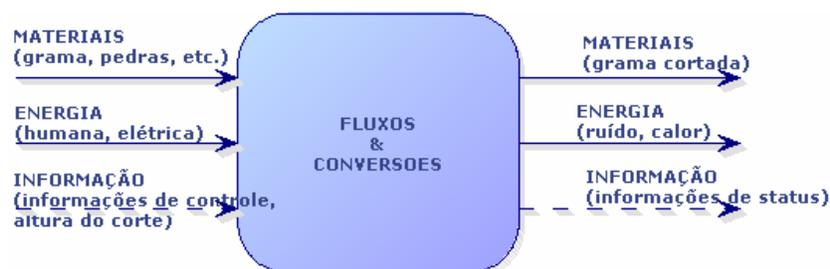


Figura 5-12 – Função geral

A função geral pode agora ser dividida em um número apropriado de pequenas funções que indicam as relações lógicas e físicas entre os fluxos e conversões de matéria, energia e sinais. Usualmente existe um identificável fluxo principal que domina as situações, mais um número de fluxos auxiliares de suporte. O caráter de uma função é usualmente indicado pelo “imperativo + objeto” da função, por exemplo, “Ajustar parâmetros” ou “Cortar grama”. A organização das funções pode ser alterada para determinar a estrutura mais favorável de funções, lembrando que a solução deverá eventualmente ser materializada. Existem dois tipos de estruturas de função:

Estruturas Funcionais de Sistema

Estruturas Funcionais de Processo

Quando for preparada a estrutura funcional do sistema, os limites do sistema são desenhados ao redor do dispositivo, por exemplo, o cortador de grama e as suas entradas, saídas e funções relevantes mostrados na Figura 5-13.

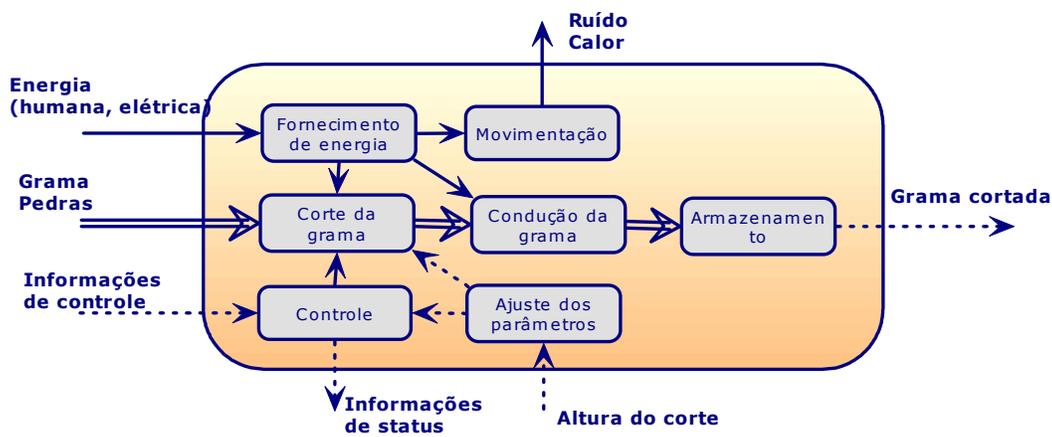


Figura 5-13 – Estrutura funcional do sistema

Muitos dispositivos são usados como parte de um processo e neste caso a estrutura funcional dos processos (fluxograma) mostra a seqüência de sub-rotinas a serem executadas. Uma estrutura funcional de processo para o cortador de grama é mostrada na Figura 5-14. O assunto mais importante é usar o método de forma flexível de forma que seja o mais útil possível.

É possível produzir uma estrutura muito detalhada, dividindo cada função em unidades cada vez menores. Apesar disso, esse procedimento deverá continuar enquanto ele ajudar no discernimento útil. Somente fazer isso por fazer não faz sentido. Uma recomendação útil é de trabalhar com 10 a 20 funções.

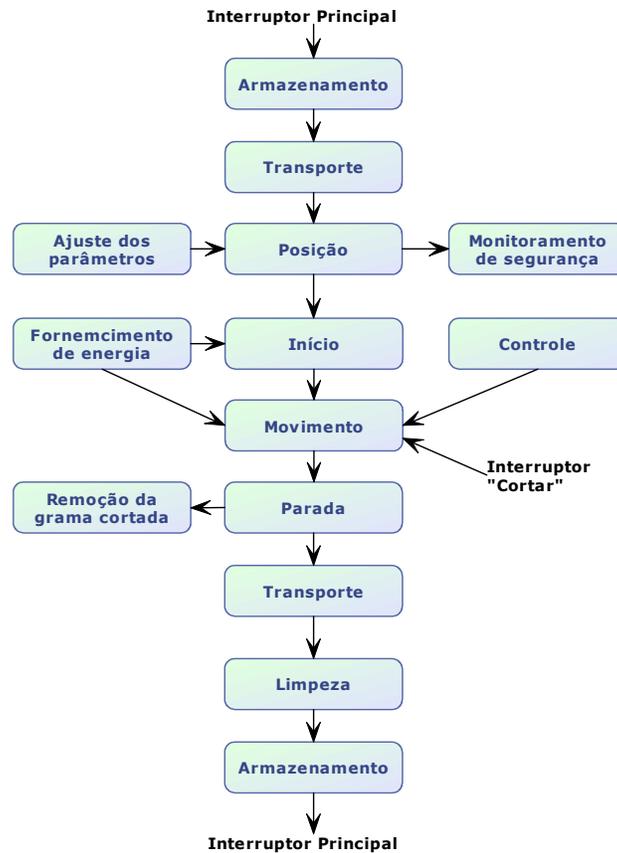


Figura 5-14 - Estrutura funcional de processos

5.7.2. A Geração dos Conceitos

Em teoria a estrutura funcional deverá ser criada independentemente de qualquer solução física particular. Na prática, nós sempre temos uma solução atraente em mente. Então, devemos buscar um ou mais **princípios** de solução para cada função.

Neste estágio, as técnicas de geração de idéias tais como o *brainstorming* são bastante úteis. Alguns dispositivos existentes podem ser analisados e idéias úteis podem ser obtidas a partir do **estudo de sistemas naturais**.

Uma vez definido os princípios da solução, eles devem ser combinados sistematicamente usando uma **tabela de opções** como mostra a Tabela 5-2. As funções chave da estrutura funcional são listadas na coluna esquerda. Os princípios de solução para cada função são identificados nas linhas. A **combinação** é feita pela seleção de **um** princípio de solução para cada linha. Obviamente poderá ser gerado um grande número de possíveis combinações que poderão não ter sido pensadas previamente. Mais uma vez, recomenda-se utilizar esta técnica enquanto ela fornecer discernimentos úteis.



O critério de seleção para as combinações está baseado nas **necessidades** identificadas na especificação do projeto. Se as necessidades estão corretamente identificadas, então qualquer combinação de princípios de solução que não satisfazer uma única necessidade, deverá ser modificada ou rejeitada. Uma simples decisão de sim/não será suficiente. O melhor momento para fazer isto é enquanto se criam as combinações, de forma a não incluir qualquer combinação em que o senso comum de engenharia sugira ser inapropriado para satisfazer a necessidade. Como regra geral, selecionar não mais de **cinco** combinações.

Tabela 5-2 – Tabela de opções

| Função | Princípios de Solução | | | | |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|--|
| Alimentação de energia | Humana | Baterias | Rede | Combustível líquido | |
| Movimento do dispositivo | Cilindros | Rodas | Colchão de ar | | |
| Corte da grama | Facas de eixo horizontal | Facas de eixo vertical | Facas de movimento paralelo | Fio em rotação | |
| Acionamento do cortador | Energia cinética | Pressão de ar | Gravidade | | |
| Armazenamento da grama cortada | Saco | Caixa | Nenhum | | |

Tabela 5-3 – Escolha das opções

| Função | Princípios de Solução | | | | |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|--|
| Alimentação de energia | Humana | Baterias | Rede | Combustível líquido | |
| Movimento do dispositivo | Cilindros | Rodas | Colchão de ar | | |
| Corte da grama | Facas de eixo horizontal | Facas de eixo vertical | Facas de movimento paralelo | Fio em rotação | |
| Acionamento do cortador | Energia cinética | Pressão de ar | Gravidade | | |
| Armazenamento da grama cortada | Saco | Caixa | Nenhum | | |

Diagram illustrating the selection of three combinations (Combinação 1, 2, and 3) based on the principles of solution for each function. The combinations are indicated by colored arrows pointing to the selected options in the table:

- Combinação 1 (Pink):** Humana, Rodas, Facas de eixo vertical, Pressão de ar, Caixa.
- Combinação 2 (Orange):** Baterias, Rodas, Facas de eixo vertical, Pressão de ar, Caixa.
- Combinação 3 (Teal):** Rede, Colchão de ar, Facas de movimento paralelo, Gravidade, Nenhum.

5.7.3. Avaliação dos Conceitos

As combinações selecionadas necessitarão ser confirmadas em conceitos antes que possam ser avaliadas para determinar quais são as melhores. O objetivo agora é determinar qual possui a combinação mais favorável de características adicionais,

e assim, fornecer o máximo de vantagens competitivas. Três produtos baseados nas combinações selecionadas a partir da tabela de opções são mostrados na Figura 5-15.

Antes de começar com o procedimento formal de avaliação é bom anotar qual dos conceitos você considera ser o melhor e por quê. Pode ser usado um método formal para verificar a sua decisão intuitiva e fornecer novas idéias. Se existir uma diferença entre o primeiro “chute” e o resultado do procedimento formal, é inteligente tentar determinar por quê.



Figura 5-15 - Conceitos de cortador de grama

A avaliação é baseada nos **desejos** identificados nas especificações do projeto. Algumas respostas são requeridas além daquelas sim/não, para determinar os méritos relativos de cada conceito. Para fazer isto cada critério deve ser pesado para indicar a sua relativa importância. Os desejos devem ser avaliados caracterizados como tendo importância alta, média e baixa, atribuindo valores numéricos de 3, 2 e 1 respectivamente. É possível estabelecer métodos mais detalhados se for necessário, aumentando a escala de pesos e considerando importâncias intermediárias, porém o simples método sugerido acima é geralmente adequado, particularmente para as avaliações preliminares.

Os critérios de avaliação precisam ter parâmetros que os caracterizem. Alguns podem ser quantificados tais como “peso em Newtons” ou “potência em quilowatts”, enquanto que outros somente poderão ter uma indicação qualitativa, por exemplo, “fácil de montar” ou “aparência agradável”. Para que todos os tipos de parâmetros diferentes possam ser avaliados em alguma tabela quantitativa devemos atribuir um valor de escala para os parâmetros que não podem ser diretamente quantificados. Para fazer isto devemos definir um dos princípios como sendo um modelo de referência e selecionar um valor relativo para cada critério a ser julgado, por exemplo, podemos usar a seguinte escala:

Melhor que a referência: + 1



Pior que a referência: -1

Muito melhor que a referência: +2

Muito pior que a referência: -2

Esses valores podem agora ser inseridos em uma tabela de avaliação, onde cada coluna é multiplicada pelo peso apropriado para fornecer um determinado valor ponderado e esses então podem ser somados para fornecer um valor ponderado geral para cada conceito relacionado com um padrão de referência. Em geral, o maior valor deverá ser o melhor conceito.

Uma tabela de avaliação para o cortador de grama é mostrada na Tabela 5-4. Notar que o critério irá atribuir o valor zero para o conceito com rodas e com colchão de ar não é mostrado. Neste exemplo, o cortador de grama com colchão de ar é julgado ser marginalmente melhor que o cortador com rodas, e ambos sendo consideravelmente melhores que o cortador com cilindros. Apesar disso, os resultados devem ser usados cuidadosamente tendo sempre em mente a natureza subjetiva de muitos dos números colocados na tabela. Em geral, pequenas diferenças numéricas não são significativas, e ainda um conceito com valor geral elevado poderá ter pontos fracos preocupantes.

Tabela 5-4 – Tabela de Avaliação

| Critério | Peso | Cilindro | | Rodas | | Colchão de ar | |
|-----------------------|------|------------|-----------------|-------|-----------------|---------------|-----------------|
| | | Valor | Valor ponderado | Valor | Valor ponderado | Valor | Valor ponderado |
| Facilidade de manobra | 3 | Referência | | +1 | +3 | +2 | +6 |
| Peso | 3 | | +2 | +6 | +2 | +6 | |
| Aparência | 3 | | +1 | +3 | +2 | +6 | |
| Preço | 3 | | +1 | +3 | 0 | 0 | |
| Força de movimento | 2 | | +1 | +2 | +2 | +4 | |
| Robustez | 2 | | -1 | -2 | -1 | -2 | |
| Ajuste do corte | 2 | | -1 | -2 | -2 | -4 | |
| Velocidade de corte | 1 | | +1 | +1 | +2 | +2 | |
| Vida | 1 | | 0 | 0 | -1 | -1 | |
| | | | | | | | |
| Total | | | 0 | | +14 | | +17 |

A técnica mostrada assegura um método disciplinado e fornece recomendações valiosas para os méritos relativos dos conceitos, entretanto, deverá prevalecer a análise final feita usando o senso comum. Verifique os resultados com



as tentativas iniciais e verifique que o conceito escolhido atende às demandas e necessidades com altos valores de avaliação dos desejos.

O conceito selecionado deverá agora ser apresentado de tal forma que outras pessoas sejam convencidas que pode se passar para a fase da materialização – a clareza e a brevidade são essenciais neste estágio.

5.8. A Especificação do Projeto de Produto

Antes de trabalhar diretamente na especificação do projeto de produto faremos um exercício de cinco minutos sobre um projeto de produto solicitado por um cliente hipotético.

“Um cliente solicitou um projeto de uma cadeira para o seu filho”.

Depois de lido o resumo, use cinco minutos do seu tempo para produzir um projeto que você achar preenche os requisitos do resumo. Pegue lápis e papel.

Acabou?

O seu projeto é parecido com o da Figura 5-16?

O seu projeto é parecido com o da Figura 5-17?

O seu projeto é parecido com o da Figura 5-18?

O cliente desejava uma cadeira igual ao da Figura 5-19.

5.8.1. A Função da Especificação do Projeto de Produto

Como foi visto no exercício anterior, é muito fácil mal interpretar um resumo de projeto e projetar um produto que o cliente não quer. O objetivo da especificação do projeto de produto é ajudar a ganhar entendimento da natureza do problema de forma que você possa projetar a melhor solução para o problema.

Voltando ao nosso exemplo anterior, era importante saber que tipo de cadeira que o cliente desejava antes de partir diretamente para o projeto. Mas também existem outros fatores a serem considerados tais como a disponibilidade dos materiais, o tamanho do usuário, ou ainda as cores que os clientes desejam que o produto apresente. Quando mais conhecermos acerca do problema, mais fácil (e mais barato) será produzir um projeto final que funcione de primeira e que não requeira de alterações nos estágios subseqüentes. A especificação de projeto de produto lhe ajudará a entender o problema antes de você começar o seu projeto.



Figura 5-16 - Uma cadeira projetada para o dormitório do filho do cliente. A ser usada com uma mesa de computador. Uma cadeira tipo de “escritório” giratória com altura ajustável.



Figura 5-17 - Uma cadeira projetada para o dormitório do filho do cliente. Uma cadeira fofa confortável para que o filho do cliente assista televisão



Figura 5-18 - Uma cadeira projetada para o filho caçula do cliente

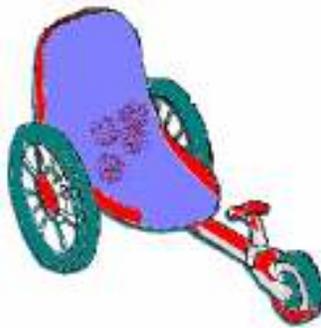


Figura 5-19 - O cliente desejava uma cadeira de rodas de corrida para o seu filho de 25 anos de idade para participar de uma maratona.

5.8.2. Como Escrever uma Especificação de Projeto de Produto

A especificação de projeto de produto (EPP) é um documento muito importante no processo de projeto porque ele contém toda a informação necessária para que a equipe de projeto possa produzir uma solução eficiente para um problema. A EPP



divide o problema em categorias menores para facilitar a sua consideração detalhada. O documento final deve indicar todos os requisitos do produto de forma não ambígua acompanhado de todas as restrições que possam afetar o mesmo. O cliente deverá ser consultado sobre todos os parâmetros de interesse e sobre as restrições durante a elaboração do EPP. Qualquer propriedade numérica no EPP deve ser especificada tão exatamente quanto possível com os valores das tolerâncias permitidas.

Vários aspectos relacionados com o produto devem ser considerados pelo engenheiro de produto. Um EPP típico deve levar em consideração os seguintes fatores:

- Aparência e acabamento
- Concorrência
- Documentação
- Cliente
- Ergonomia
- Ambiente de operação
- Instalação
- Disposição e eliminação do produto
- Tempo de produção
- Implicações legais e de segurança
- Legislação, patentes e direitos de autor
- Manutenção
- Embalagem e transporte
- Desempenho
- Processos
- Custos de fabricação
- Dimensões
- Vida útil
- Qualidade
- Quantidade
- Normas técnicas
- Testes

O documento final deve ser aprovado pelo cliente.

A Aparência

A forma estética em que um produto se apresenta poderá ter maior influência na sua comercialização. Isto é especialmente verdadeiro para os itens de consumo tais como aparelhos de DVD e veículos de passeio, no entanto vale também para muitos produtos industriais tais como CLPs, empilhadeiras, tratores e máquinas CNC. A aparência do produto deve ser incluída no estágio de projeto. Uma forma



simples de influenciar a aparência do produto é usar cores e tratamentos de superfície apropriados.

A forma também influencia a reação do consumidor. A seleção de materiais e processos de manufatura pode ter efeito decisivo na estética do produto e podem ter que ser cuidadosamente considerados. Um bom projetista industrial deve ser capaz de integrar à funcionalidade do produto uma característica estética agradável.

A Concorrência

Se existir produtos concorrentes no mercado, pode ser útil estudá-los e documentar qualquer inovação. É de particular importância conhecer o preço dos produtos concorrentes. O departamento de marketing frequentemente usa diferentes técnicas para analisar as organizações concorrentes e os seus produtos.

O Cliente

É vital que as necessidades dos clientes ou dos potenciais clientes sejam levadas em consideração durante a elaboração do EPP. O cliente é a razão do desenvolvimento do produto e se ele não gostar do mesmo, ou se a especificação do produto não preencher os requisitos do cliente, esse será um produto mal sucedido.

Diferentes mercados impõem diferentes requisitos para um produto bem sucedido. Se o produto tem como objetivo um mercado em particular, deverá ser feita uma pesquisa intensiva para identificar os requisitos desse mercado em particular.

A Disposição e Eliminação do Produto

A forma de disposição do produto depois que o usuário o utilizar ou até o final da vida útil, deve ser considerado no estágio da EPP. Isso é especialmente importante se o produto contiver material potencialmente tóxico perigoso. Deve se estudar qualquer legislação ambiental que for relevante para a disposição do produto.

A Documentação

A documentação do produto deve incluir instruções detalhadas o suficiente para que os consumidores sejam capazes de usar o produto e que o pessoal da manutenção possa executar todas as tarefas necessárias à manutenção do produto. Do ponto de vista legal e de segurança, é desejável que a empresa elabore a documentação de forma a avisar o usuário de que não se responsabiliza à luz da legislação vigente, dos acontecimentos que venham ocorrer pela utilização incorreta



do produto. Para projetos ou produtos muito grandes, a documentação envolvida pode contribuir substancialmente no custo final do produto. A quantidade e o tipo de documentação requerida devem ser especificados na EPP.

O Ambiente de Operação

O ambiente que o produto encontra desde a manufatura até a sua distribuição e operação pelo consumidor deve ser considerado no EPP. A maioria dos produtos se espera operar em uma grande variedade de ambientes. Isto determinará a seleção de materiais a serem utilizados. Alguns fatores que devem ser considerados são os seguintes:

A faixa de temperatura de operação

Ambientes corrosivos

Sujeira ou poeira que possam afetar o funcionamento do produto

As faixas de pressão e de umidade

O grau de negligência e de abuso ao qual o produto pode ser exposto

Os níveis de vibração e de ruído

A Ergonomia

A ergonomia estuda como o usuário interage com o produto. Por exemplo, no caso de um veículo, um requisito ergonômico pode ser que o painel de controle não esteja a mais de um metro de distância da poltrona. O projetista deve considerar o usuário alvo no estágio de projeto para que o produto final seja utilizável. As principais limitações a serem consideradas são:

Características de tamanho: Por exemplo, qualquer condutor deve ser capaz de alcançar os pedais de um veículo de passeio.

Características de Reação: permite que um operador seja capaz de reagir em tempo hábil a alguma situação.

Características de Resistência: por exemplo, para um item de operação manual, o usuário deverá ser capaz de gerar a força suficiente para operar o produto.

A Instalação

A EPP deve estabelecer quem é o responsável pela instalação do produto. Para alguns produtos, por exemplo, grandes peças de máquinas, os custos de instalação podem ser comparáveis com o custo atual do produto. Os custos de manutenção precisam estar embutidos no preço de venda se a instalação é executada pela própria empresa que fabrica o produto.



Tempo de produção

O tempo de produção é o tempo requerido desde o início do projeto até a distribuição para o primeiro consumidor. O tempo de produção associado ao projeto do produto e à sua manufatura deve ser especificado no EPP. Para alguns produtos, o tempo de produção pode ser de poucas semanas, porém para produtos mais complexos, o tempo pode ser consideravelmente longo. O tempo de desenvolvimento de um novo veículo de passeio pode ser de vários anos enquanto que o de um avião pode levar dez anos do início até o fim. Em geral, quanto mais rápido o produto possa ser introduzido no mercado, maior o seu sucesso. Isso é especialmente verdade para os produtos de alta tecnologia tais como os computadores. Não há sentido em introduzir um produto no mercado quando ele já está obsoleto.

As Implicações Legais e de Segurança

Um fabricante tem que considerar toda e qualquer legislação referente à confiabilidade dos produtos e às áreas onde os potenciais defeitos podem levar ao consumidor processar o fabricante. Neste caso a segurança do produto é de principal importância.

Legislação, Patentes e Direitos do Autor

Um novo produto deve estar de acordo com qualquer legislação relacionada à sua manufatura e ao uso pelo consumidor. As leis típicas que devem ser obedecidas incluem:

Leis de confiabilidade de produto

Leis de saúde e de segurança

Leis comerciais

Inspeções periódicas

Leis ambientais (essas podem gerar implicações para a manufatura, uso do produto e ainda na desmontagem e disposição do produto).

Quando é desenvolvido um novo produto, é importante ter certeza que ele não se classifica dentro de qualquer **patente** que tenha sido registrada. Se ele se classifica dentro de uma patente já registrada, o proprietário da mesma pode iniciar uma ação legal para impedir a comercialização do produto ou para obter o seu direito de pagamento de royalties. Apesar disso, as patentes existentes nem sempre limitam o desenvolvimento de produtos. As patentes podem inspirar o pessoal da engenharia e do marketing com novas idéias de novos produtos a desenvolver e novos mercados a explorar. Muitas patentes são registradas



definindo se o proprietário pode ou não explorar comercialmente a idéia, de forma que as empresas podem comprar os direitos dessas patentes e explorar a idéia.

Se o produto contiver material escrito ou gráfico, é importante não infringir os direitos do autor. O material escrito por uma outra pessoa pode ser resumido, mas não copiado. O direito do autor para itens tais como fotografias pertencem à pessoa quem originalmente tirou a fotografia, assim, deve ser obtida a permissão por escrito do autor antes de usá-las.

A Manutenção

O tempo de serviço de um produto deve ser suficiente de modo que não haja necessidade de maiores consertos do produto. Apesar disso a maioria dos produtos precisarão de rotinas de manutenção para assegurar uma operação eficiente. Se for conhecido que algum componente ou peça requer manutenção periódica, o acesso às mesmas deve ser tão fácil quanto possível. Os cronogramas de manutenção também afetarão quais peças são fornecidas como padrão com o produto. Se for necessária alguma ferramenta especial para a manutenção, ela deve ser indicada explicitamente no EPP.

Os Materiais

Na maioria dos casos, a escolha dos materiais deve ser deixada para a equipe de projeto decidir após que a EPP tenha sido escrita. Desta forma, a equipe de projeto poderá especificar materiais que são mais apropriados para o caso particular. Apesar disso, em alguns casos, o cliente ou a realimentação de uma análise de mercado, podem determinar a necessidade de uso de um determinado material em particular. Um exemplo comum é que superfícies expostas de liga de alumínio não são permitidas nos equipamentos para uso em minas subterrâneas.

Embalagem e Transporte

O tipo de embalagem deve ser especificado no EPP. Para produtos industriais, a embalagem tem como única função a de proteger o produto durante o transporte e o armazenamento. A embalagem dos produtos de consumo geral pode servir também como elemento de marketing e para chamar a atenção de um cliente potencial. O tipo de embalagem utilizada influencia no método de transporte a ser utilizado desde a fábrica até o consumidor ou o distribuidor. O produto pode ser transportado em caminhões, barcos ou em outras formas de transporte, tendo cuidado de assegurar que o produto é apropriado para o tipo de transporte considerado. Existem casos bem documentados onde produtos projetados para exportação chegaram às docas do porto, mas não couberam no compartimento do



navio. As considerações do tipo de transporte durante o estágio de projeto podem erradicar essas situações potencialmente custosas e embaraçosas.

O Desempenho

O desempenho explicita as características principais do funcionamento do produto. Por exemplo, quando for definida uma EPP para um veículo automotor, algumas questões típicas que precisam ser definidas são:

Qual é a velocidade máxima que o veículo terá?

Que tão rápido o veículo irá acelerar?

Quanta carga o veículo poderá carregar?

Qual é o consumo mínimo de combustível?

De forma a especificar o desempenho do produto pode ser necessário responder um longo número de perguntas desse tipo. Apesar disso, deve ser tomado especial cuidado para não sobre especificar o desempenho do produto de forma que ele fique inviável economicamente. Por exemplo, especificando o projeto de uma nova caminhonete com uma velocidade de 250 km/h seria inviável.

Os Processos

Se for possível estipular os processos de manufatura e montagem, eles devem ser introduzidos na EPP.

Custos de Fabricação

A grande maioria dos produtos é projetada com custo alvo a ser atingido ou melhorado. Esse custo pode ser determinado pela especificação do cliente de quanto ele deseja pagar ou pela análise de mercado. O custo estimado de produção deve ser maior que o custo de fabricação, já que não é bom vender o produto perdendo dinheiro. Não é um bom estilo, projetar um produto e se preocupar mais com os outros aspectos da EPP e não muito com os custos. L O produto poderá não ser vendido se for muito caro.

As Dimensões do Produto

As dimensões e peso do produto devem ser documentados na EPP. No caso de produtos excepcionalmente grandes e pesados, devem ser considerados processos especiais de fabricação e instalações especiais. Poderá haver também problemas no transporte de produtos muito grandes. Os produtos pequenos e delicados podem apresentar problemas tais como a forma de manipulação dos componentes durante a fabricação de forma que eles não sejam danificados.



A Vida Útil

O tempo de vida de um produto pode ser usado para descrever diferentes características:

O tempo de serviço: é a quantidade de tempo de operação esperado para o produto, quanto utilizado de forma correta e sem a necessidade de maiores consertos.

A vida do produto: é o tempo em que o fabricante levará para produzir um produto para substituí-lo por um modelo novo. O tempo de serviço de um produto será de principal importância quando o produto está sendo projetado. Um fabricante pode adquirir uma má reputação e perder as suas vendas se o seu produto for conhecido pelas repetidas falhas na operação. Apesar disso, não há sentido em reforçar demais o produto para durar muito além do tempo de vida projetado e aumentar o preço de forma expressiva. O tempo de serviço projetado para o produto terá a maior influência no tipo de garantia que será oferecido ao usuário. Um produto deverá operar perfeitamente até o dia depois do tempo de vida esperado e então cada componente deverá falhar simultaneamente. Esse conceito é conhecido como obsolescência planejada e é utilizado por muitas empresas.

A Qualidade

O controle de qualidade é executado tradicionalmente pelo setor de qualidade das empresas. Apesar disso, não existe uma forma única na qual a qualidade de um produto pode ser assegurada. É mais importante projetar o produto tendo em mente a qualidade. As tolerâncias e o acabamento das superfícies devem ser especificados de forma a alcançar uma qualidade de produto apropriada. Apesar disso, não tem sentido sobre-especificar as tolerâncias e nem os acabamentos superficiais que resultem em altos custos de fabricação.

A Quantidade

A quantidade produzida de um produto terá efeito significativo tanto no tipo de processo de manufatura tanto quanto nos materiais que poderão ser selecionados pela equipe de projeto. Um produto produzido em massa pode implicar em investimentos de processos de produção automática e em ferramentas especiais, enquanto a produção por batelada geralmente não requer de investimentos significativos.



As Normas

A maioria dos produtos tem que obedecer a um grande número de normas. O conjunto das normas da ABNT contém informações sobre os requisitos para os diferentes produtos. Existem milhares de normas e a maioria dos produtos deve obedecer pelo menos uma delas. Para um produto que incorpora vários componentes, cada componente deverá usualmente obedecer a sua própria norma. Por exemplo, se um produto incorpora um motor elétrico, o motor deverá obedecer às normas relevantes referentes aos motores elétricos.

Os Testes

A maioria dos produtos acabados requer de testes para assegurar que preenche os requerimentos estabelecidos na EPP. Para os produtos produzidos em massa, os testes podem ser efetuados por amostragem de lotes de produção, sem precisar testar um por um. Por exemplo, uma fábrica que produz 1.000 produtos por dia, poderá testar somente 50 para assegurar que a qualidade de cada batelada de produtos tem qualidade suficiente para ser comercializada. Para os produtos produzidos em número limitado, os testes deverão ser efetuados em cada produto para demonstrar ao cliente que o produto satisfaz as suas necessidades. Esses testes podem ser acompanhados pelo próprio cliente. Os custos associados com os testes podem ser significativos, requerendo investimento em pessoal ou em equipamentos de teste. Em alguns casos pode não ser possível efetuar testes em toda a escala de operação do produto. Para sistemas grandes de maquinário, o fabricante não poderá ter uma instalação suficiente para fazer um teste em toda a faixa de operação.

5.8.3. Exemplo de uma Especificação de Projeto de Produto

Especificação de Projeto de Produto para um Guincho de Tambor Rotativo Portátil

O seguinte exemplo de EPP, apesar de poder ser mais longa que a que você poderá produzir para os seus projetos, contém muitos fatores de uma EPP comercial e é originária de uma fábrica de guinchos. Um resumo de projeto real para um guincho portátil poderá conter muitos outros aspectos que os aqui estabelecidos. Uma EPP para um veículo de passeio familiar, por exemplo, poderá ter muito outros fatores específicos ao produto e poderá requerer de grandes manuais para listar o problema em detalhe.

Guincho Portátil

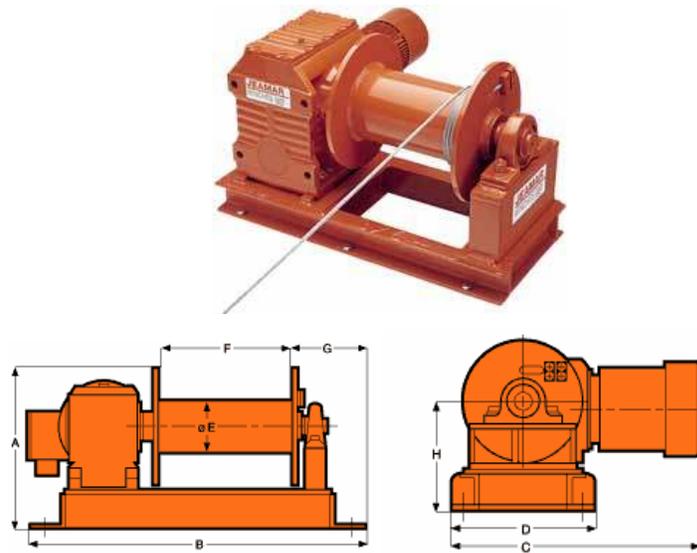


Figura 5-20 - Guincho portátil

Resumo do Projeto

A partir de pesquisas no mercado interno, se decidiu que a empresa Mater Matris precisa projetar um guincho de tambor de propósito geral para vender às empresas do setor de instalação de cabos e tubulações. O guincho deverá ser portátil, entretanto deverá ter pontos de fixação para o usuário final. É importante que o guincho se encaixe dentro da faixa dos Guinchos de Propósito Geral estabelecida pelas normas vigentes.

1.0. O Desempenho

- 1.1 Capacidade de sustentação de carga: menor que 2.5 toneladas ($\pm 10\%$)
- 1.2 Enrolamento do cabo à velocidade constante de 0.2 m/s.
- 1.3 O acionamento do guincho deverá parar automaticamente quando a carga exceder em 10% ao valor máximo especificado.
- 1.4 O acionamento deverá parar automaticamente quando existir somente 1.5 m de cabo no tambor rotativo.
- 1.5 O guincho deverá operar no modo direto, reverso, de parada e de passo a passo.
- 1.6 Pode ser usado qualquer sistema de frenagem, podendo produzir um torque de frenagem de 150% do valor do torque máximo de carga.
- 1.7 O guincho deve possuir um dispositivo manual para liberar o freio e para descida da carga no caso de falha na alimentação.



1.8 No caso do guincho ficar sobrecarregado, deverá existir um dispositivo de segurança que deverá operar de forma manual ou automaticamente se a velocidade da carga exceder os 3 m/s.

1.9 O produto deverá ser portátil, entretanto com a opção de montagem permanente.

1.10 O produto deve utilizar uma fonte portátil de alimentação, preferível um motor a diesel ou de indução elétrica.

1.11 O peso do produto deverá ser suficiente para permitir a sua estabilidade durante a operação.

1.12 A eficiência da unidade deve ser elevada, preferencialmente de 20 a 30%.

1.13 O tambor deverá suportar até 50 m de cabo.

2.0 O Ambiente

2.1 Os mecanismos, o tambor e a unidade de alimentação deverão ficar na mesma unidade mecânica.

2.2 O equipamento deve ser projetado para operar nas condições climáticas da América do Sul (climas tropicais do norte e polares no sul do continente). Espera-se exportar 5% das unidades para a África e Oriente Médio.

2.3 Faixa de temperaturas:

-26 °C: Região sul da América do Sul

+45°C: Região norte da América do Sul, África e Oriente Médio.

2.4 O produto pode estar exposto à condições de umidade elevada.

2.5 Deve ser considerada a resistência à corrosão pelo uso de materiais especiais e/ou técnicas de proteção de superfície.

2.6 O ruído do equipamento não poderá exceder 95 dB a uma distância de 1 m.

2.7 O guincho será armazenado em armazéns das distribuidoras antes das vendas.

3.0 A Vida Útil

3.1 O produto deverá ficar no mercado por 10 anos.

3.2 As peças de reposição deverão ficar disponíveis por mais 5 anos.

4.0 O Tempo de Serviço



4.1 Deverá suportar um período de operação de 1 hora ininterrupta de uso por dia durante 5 anos.

4.2 O tempo de serviço deve ser comparado com os fatores de Desempenho e Ambiente.

5.0 O Tempo de Armazenamento e Estoque

5.1 O produto deverá ser armazenado na fábrica durante 1 mês antes de ser despachado.

5.2 O distribuidor do Oriente Médio poderá armazenar o produto durante vários meses.

6.0 O Custo Alvo

6.1 O produto deverá ter um custo para o usuário final menor que US\$3000.00.

6.2 O custo de fabricação deverá ser menor que US\$1500.00.

6.3 Os custos da embalagem e transporte devem ser inferiores a 10% do custo de fabricação.

7.0 A Quantidade

7.1 Cem unidades no primeiro ano, aumentando proporcionalmente para 900 unidades em quatro anos.

8.0 A Manutenção

8.1 O guincho não deverá precisar de manutenção exceto para a lubrificação mensal e serviços especiais recomendados a cada dois anos.

8.2 As peças que requerem de lubrificação periódica devem estar acessíveis em 15 minutos sem necessidade de ferramentas ou equipamentos especiais.

8.3 Todos os dispositivos de fixação deverão atender à norma NBR 6105.

8.4 As peças de reposição deverão ficar disponíveis por 5 anos após o produto ser substituído por um novo modelo.

8.5 Nenhuma ferramenta especial deve ser requerida para efetuar a manutenção.

9.0 O Marketing

9.1 Inicialmente será fabricado para o mercado da América do Sul, entretanto os nossos distribuidores em Singapura, Hong Kong, Sidnei e Pretória poderão procurar clientes potenciais para o produto.



9.2 O guincho deverá operar de forma equivalente aos modelos fabricados pelas seguintes companhias:

Swansom - Inglaterra

Oholom - Suécia

Winderhock - Alemanha

9.3 Mercados potenciais:

Serviços de instalações de cabos de telecomunicações.

Serviços de instalação de redes de gás e de energia elétrica

Serviços de instalação de tubulações.

Operações na Engenharia Civil.

9.4 Resumo dos requerimentos de marketing:

Guincho portátil que pode ser fixado a uma *van* e pequenos caminhões.

Fonte de energia portátil.

Pode ser usado em qualquer clima.

Pode ser operado por uma única pessoa.

Deve ter pelo menos 40 m de cabo.

Deve poder puxar uma carga de pelo menos 2.000 kg.

10.0 A Embalagem

10.1 Os custos de embalagem e transporte devem ser mantidos mínimos e preferencialmente abaixo de 5% do custo da unidade.

11.0 As Restrições de Tamanho e Peso

11.1 O peso não pode ultrapassar os 500 kg.

11.2 O comprimento deve ser menor que 2500 mm.

11.3 A largura deve ser menor que 2000 mm.

11.4 A altura deve ser menor que 2000 mm.

12.0 O Transporte

12.1 O produto será transportado por terra dentro a América do Sul.

12.2 O produto poderá ser transportado por mar para o Oriente Médio e para a África.

13.0 O Processo de Manufatura

13.1 As instalações atuais para a capacidade de fabricação estão de acordo com as demandas de mercado dentro do escopo de aumento de uma produção de 200 unidades por ano sem expansões nem novos investimentos.



13.2 Os motores, transmissões, rolamentos e cabos serão comprados dos seguintes fornecedores:

Motores:

Motores Elétricos: Weg, Eberle

Motores Diesel: Continental

Motores Hidráulicos: Hydrostatic Transmission

Rolamentos:

GNK

Transmissões:

Acoplamentos: Wellman

Engrenagens sem-fim: Reynold

Engrenagens planetárias: PPG

Engrenagens lineares: Dana

Correias: Fenner

Cabos:

Bridon

13.3 As carcaças e os moldes de injeção serão produzidos por fornecedores externos.

14.0 A Estética

14.1 O formato do produto deverá ser de acordo com a sua função.

14.2 Se o custo permitir, o guincho deverá parecer atrativo para melhorar a imagem da empresa frente ao mercado.

15.0 A Ergonomia

15.1 Os controles devem ser montados em posições acessíveis com relação ao operador, i.e., na altura da cintura, em torno de 1 m, para ser apropriado para 95% da população mundial.

15.2 Todos os controles poderão ser operados a mão, requerendo somente uma das mãos com a pressão de força máxima de 1,5 N/m².

15.3 Uma pessoa deverá ser capaz de operar o produto.

16.0 Os Requisitos do Cliente

Ver Marketing.

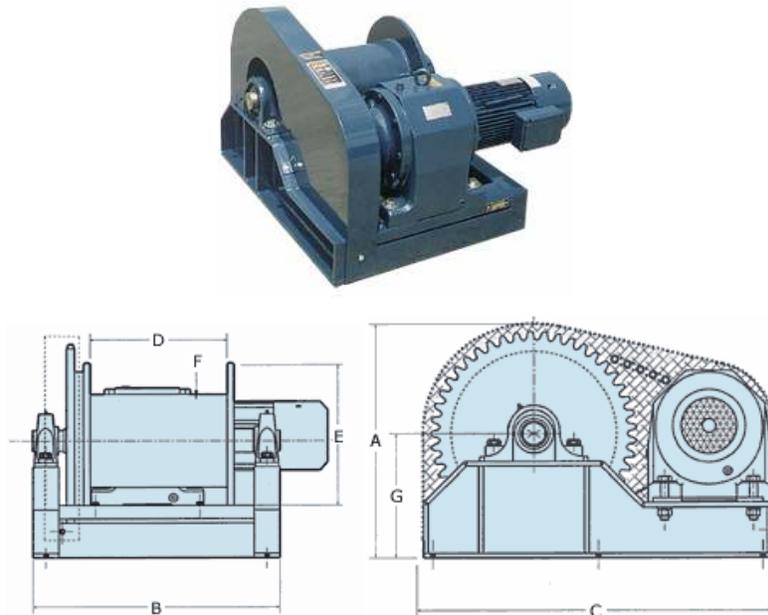


Figura 5-21 – Guincho de grande capacidade

17.0 A Concorrência

17.1 O guincho deverá poder concorrer em preço e funcionalidade com os modelos equivalentes, incluindo os das seguintes companhias:

Swansom - Inglaterra

Oholom - Suécia

Winderhock - Alemanha

18.0 A Qualidade e Confiabilidade

18.1 A qualidade deve ser tal que a maioria dos guinchos não falhe no período de três anos, e somente entre 1 a 50 possam falhar no primeiro ano.

18.2 Nenhum guincho poderá falhar no dispositivo de proteção de sobrecarga.

19.0 As Normas e Especificações

19.1 As normas a serem atendidas são as seguintes²⁶:

NBR 5000 Desempenho de motores

NBR 6105 e NBR 20898(1) Correias

NBR 6322(2) & NBR 4320 Porcas e parafusos

NBR 7676 e NBR 4517 Engrenagens

NBR 3019 Soldas

NBR 5989 Rolamentos

²⁶ O número das normas é hipotético, só para maneira de exemplo.



NBR 2754 Isolação elétrica
NBR 5646 Proteção de Engrenagens
NBR 4235 Chaves e teclas
NBR 7664 Pintura
NBR 1399 Vedações

20.0 Restrições da Empresa

20.1 Nenhuma, exceto àquelas resumidas em Processos de Manufatura

21.0 Os Processos

21.1 Todos os componentes devem ser na forma métrica internacional e atender à norma ISO 4900.

22.0 A Segurança

22.1 Nenhum guincho poderá apresentar falha no dispositivo de segurança por sobrecarga.

22.2 O guincho não poderá ser acionado de forma acidental quando estiver em processo de manutenção.

23.0 Os Testes

23.1 Deverão ser testadas 5% das unidades.

23.2 Todos os cabos deverão ser testados de acordo com a norma NBR 621.

24.0 Aspectos Legais

24.0 Existe a possibilidade de sofrer processos legais por usuários que tenham se ferido ao acessar as partes móveis durante a operação do guincho.

25.0 Instalação

25.1 O produto será comercializado como uma unidade compacta. O usuário final será responsável pela fixação do equipamento.

26.0 A Documentação

26.1 O produto deverá ser fornecido com um manual do usuário contendo informações necessárias e suficientes para a operação e manutenção do guincho.

26.2 Os distribuidores requerem manuais de manutenção e de reparação.

27.0 Disposição

27.1 As peças plásticas devem ser separáveis e identificadas com marcas para ajudar na disposição para reciclagem.



6. OS MODELOS E A MODELAGEM NA ENGENHARIA

“A fool is a fool, although the tools”

O ser humano possui uma facilidade incrível para a criação de ferramentas que lhe permitam alterar a ordem das coisas para controlar o meio ambiente. Essa capacidade é a que o distingue dentre os outros animais. Os engenheiros criam as suas ferramentas especiais para a análise e preparação dos seus projetos. Essas ferramentas podem ser objetivas, por exemplo: máquinas ferramentas, máquinas de solda, calculadoras, computadores, software, veículos de transporte, guindastes, modelos análogos, etc., assim como subjetivas, por exemplo: metodologias de planejamento, técnicas de marketing, psicologia, modelos matemáticos, diagramas, e outros.

Uma forma de prever o comportamento dos sistemas físicos é trabalhar com representações que correspondam à aparência ou comportamento real. Trabalhar com representações no lugar de trabalhar com os próprios sistemas permite reduzir os custos iniciais do projeto, o tempo de realização, a probabilidade de obter resultados indesejados e facilita a otimização, tudo isto antes da realização do dispositivo ou sistema real.

6.1. As Representações dos Sistemas Físicos

Um engenheiro projetista deve conhecer todas as possibilidades de representação do sistema físico que irá realizar. Esse conhecimento também lhe é repassado ao engenheiro durante a sua carreira. Na sua vida profissional, irá fazer uso permanente desse conhecimento.

As formas de representação no projeto são diversas e recorrerá a uma dessas formas em especial para cada aspecto que se queira representar ^[11], desenvolver ou analisar. Assim, por exemplo, se for necessário indicar as formas e dimensões físicas do sistema, se recorrerá a uma representação gráfica em escala e as suas projeções. Se o que se propõe é observar a forma operacional e seqüencial do sistema sem interessar o seu aspecto físico ou geométrico, se recorrerá à representação na forma de diagramas de operação.

Se, conhecendo todos os dados relevantes do problema, se deseja dimensionar ou verificar o possível comportamento das variáveis do sistema físico, se recorrerá à sua representação matemática. Essa representação estará acompanhada de esquemas esclarecedores para facilitar a sua compreensão. Entretanto, se



pretender representar a relação entre duas ou mais variáveis que intervêm no problema, poderá se fazer o uso de gráficos.

6.2. Os Modelos

Os modelos e brinquedos têm muito em comum, se bem que podemos distinguir entre os que apresentam utilidade prática na indústria e na engenharia. Os modelos são anteriores à história e possivelmente à pintura. Na civilização egípcia os mortos nas suas tumbas eram acompanhados por barcos diminutos destinados a transportar as suas almas pelas águas do reino das sombras.

James Watt utilizou modelos para aferir a construção da primeira máquina de vapor prática, resultando num procedimento de experimentação menos custoso. Por sua parte, William Murdock, sócio de Watt, construiu em 1786 provavelmente o primeiro modelo de locomotiva, onde os cilindros da máquina alcançavam um comprimento de 20 mm de diâmetro.

Os engenheiros dedicam grande atenção às suas maquetes de maquinário e projetos de plantas de energia, terminais de embarque, instalações hidráulicas e outros modelos usados amplamente na engenharia. Os dados obtidos do funcionamento de ensaios realizados em escala reduzida poupam muito tempo de dinheiro e servem para melhorar consideravelmente o projeto original, já que com eles podem se construir verdadeiras “plantas piloto” de uso tão freqüente na indústria.

Os modelos em miniatura são utilizados na construção de cascos de barcos e hidroaviões para aperfeiçoá-los com testes na água. Também se usam extensivamente os modelos de aviões para testá-los em túneis aerodinâmicos onde são retiradas informações importantes tais como as pressões exercidas na fuselagem para várias velocidades e direções de vento. As figuras tridimensionais resultam muito mais convincentes que os desenhos e as fotografias. Também com a matemática pode se representar fielmente o comportamento de sistemas.

No escopo da Engenharia a palavra **modelo** pode ter algum dos seguintes significados:

- Representação em pequena escala de algo que se pretende executar em grande. Molde ou norma.
- Replica tridimensional de objeto, artefato, cenário, etc., construído em escala normal, reduzida ou ampliada para fins didáticos.
- Conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou comportamento de um sistema físico pelo qual se procuram explicar ou prever, dentro de uma teoria científica, as propriedades do sistema.



Representação simplificada e abstrata de fenômeno ou situação concreta, e que serve de referência para a observação, estudo ou análise.

Relações e processos que permitem, variando parâmetros, simular os efeitos de mudanças de fenômenos que representa.

De forma resumida podemos dizer que os modelos são representações de sistemas físicos. Nos projetos de engenharia, os modelos podem incluir um conjunto de símbolos que representam um sistema físico, i.e., que tem a mesma estrutura ou forma lógica. Podemos dizer que para cada relação existente entre elementos de um sistema, deve existir uma relação correspondente entre os elementos respectivos do modelo.

Os modelos surgem como uma grande ferramenta para os engenheiros que permitem simplificar e visualizar a solução antes de um projeto ser executado. Imagine o projeto da usina de Itaipu ser executado sem a ajuda de cálculos matemáticos, leis físicas, plantas, maquetes em escala, sem o uso de computadores, e depois ainda dar tudo certo. A principal utilidade dos modelos é a redução de custos e tempo de desenvolvimento que o seu uso representa.

Alguns modelos servem somente para representar o dispositivo ou sistema a ser implementado, outros servem para antecipar o comportamento de tamanho real; outros modelos permitem a simulação prévia, através de sistemas físicos apropriados, e alguns permite a sua simulação computacional e até a criação de espaços virtuais.

Um sistema pode ser modelado de acordo com níveis de abstração necessários para descrever as características relevantes ao mesmo. No início de um projeto, os modelos têm o maior nível de abstração e normalmente representam o sistema completo. A medida que as demais fases progredem reduzindo o nível de abstração para representar os componentes do problema.

Então, os modelos podem ser usados tanto como ferramentas de:

Representação: para visualização dos componentes, do espaço físico, design, etc.

Análise: para a observação do comportamento, projeto, previsão de comportamento futuro, interação com o meio, etc.

Simulação: para observação do provável comportamento, discernimento das interações com o meio, otimização, etc.

Pelas suas inúmeras vantagens, os modelos são extensivamente usados pelos engenheiros projetistas. Eles auxiliam na solução do problema nas fases de formulação, análise, pesquisa e decisão. Além disso, facilitam a comunicação de idéias com os outros membros da equipe e é uma forma de armazenamento de informação. Eles contêm ou deles podem se obter informações colocadas de forma



específica com respeito ao sistema que representam, entretanto requerem de uma interpretação de acordo a regras bem definidas. Os modelos podem tomar diversas formas e podem ser de vários níveis de complexidade.

Os modelos constituem uma representação ou concepção da realidade e geralmente são representações simplificadas do sistema real. Por isso, ao construí-los, deve se determinar com clareza quais atributos ou propriedades se deseja analisar ou representar, verificando se essas propriedades estão adequadamente incorporadas nos mesmos. Os modelos podem ter pouca ou nenhuma semelhança com a aparência real do sistema que representam, no entanto reproduzem os elementos essenciais dessa realidade.

6.3. A Modelagem na Solução de Problemas de Engenharia

Tanto para a síntese, quanto para a análise, os engenheiros freqüentemente fazem uso de modelos, ou seja, representações da realidade que são de uso mais apropriado do que os objetos reais em si.

Um modelo é uma representação conveniente da realidade útil para analisar o comportamento ou prever o desempenho de um dispositivo ou sistema. Por exemplo, a Figura 6-1 mostra o modelo atômico de Bohr que consiste de um núcleo massivo com carga elétrica positiva, rodeado por um ou mais elétrons orbitais com cargas negativas. Este modelo é útil na explicação do espectro atômico em termos de transições de elétrons de uma órbita para outra. Para outros propósitos, este modelo deve ser substituído por um modelo mais sofisticado da teoria da mecânica quântica.

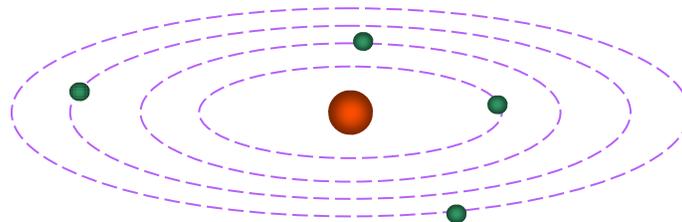


Figura 6-1 - Modelo atômico de Bohr

A modelagem é uma das atividades comuns dos engenheiros. Um modelo pode ser útil ao engenheiro, desde que ele seja simples, pequeno, barato ou mais fácil de manipular do que o fenômeno real, dispositivo ou sistema que ele representa. Os modelos de engenharia vão desde uma simples expressão matemática que relaciona a força com o deslocamento ou deformação de uma mola, até a complexa representação de um sistema urbano de transporte. O principal



requisito é que o modelo retenha as características consideradas essenciais do objeto real.

De particular importância para os engenheiros são os modelos matemáticos computacionais, que implementados num computador podem simular sistemas físicos, tais como, por exemplo, circuitos elétricos, movimento de fluidos, transporte de massa, solidificação, etc.

Um engenheiro, por exemplo, pode construir um modelo de um laser ajustável, que pode ser adaptado a várias aplicações. Um engenheiro de sistemas de controle pode empregar um modelo matemático para representar uma complexa unidade de controle e representá-la através de um diagrama de blocos.

6.4. A Classificação dos Modelos

Os modelos podem ser classificados segundo o seu uso, características construtivas e segundo a sua resposta.

6.4.1. Classificação dos Modelos segundo o seu Uso

Os modelos se usam para distintos propósitos e nesse sentido podem ser classificados em:

- modelos descritivos;
- modelos de comportamento ou resposta, e;
- modelos de decisão.

Modelos Descritivos

Os modelos descritivos são usados para representar ou descrever: relações, ordem e seqüência dos elementos componentes. São denominados também de explicativos e se usam em geral, para descrever a forma em que um evento ou função se cumpre.

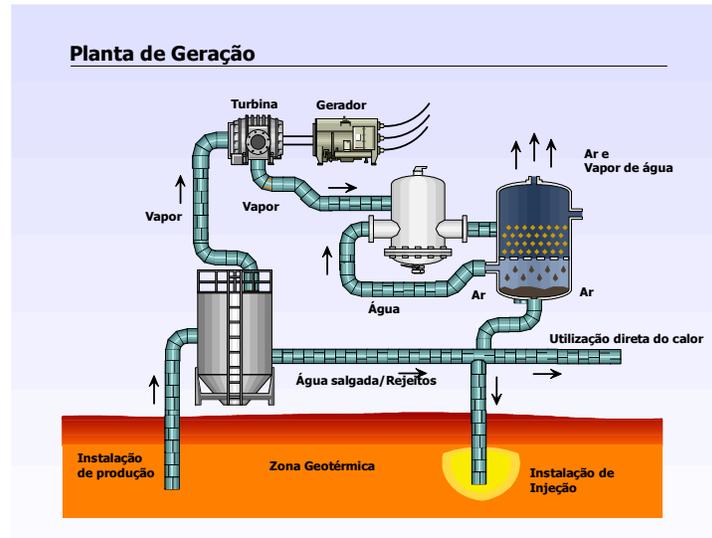


Figura 6-2 – Modelo descritivo de uma planta de geração de energia de origem geotérmica

Modelos de Comportamento ou Resposta

Os modelos de comportamento são usados para representar as respostas do sistema real ou de uma parte do mesmo a uma perturbação. Nos projetos de engenharia são usados para projetar componentes que devem produzir uma determinada resposta desejada, ou bem para determinar a resposta do sistema ante uma ação, dadas as propriedades dos componentes e da estrutura do sistema.

$$\frac{Y}{X} = \frac{1}{-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + j \cdot 2 \cdot \xi \cdot \frac{\omega}{\omega_n} + 1}$$

Figura 6-3 – Modelos matemático de resposta para o sistema da Figura 6-15

Modelos de Decisão

Os modelos de decisão se usam para selecionar a solução mais favorável entre as alternativas propostas, de acordo com as especificações estabelecidas.

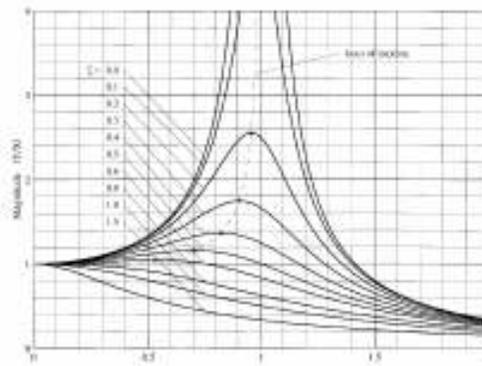


Figura 6-4 – Modelos gráfico de resposta para o sistema da Figura 6-15 que serve para tomar decisão sobre o valor adequado de ξ



6.4.2. Classificação dos Modelos segundo as suas Características Construtivas

De acordo com a forma de confeccioná-los ou as características construtivas, os modelos podem classificar-se em quatro grupos:

Iconográficos, geométricos, concretos, físicos, virtuais ou de imagens;
analógicos ou formais;
diagramáticos ou explicativos e;
analíticos ou matemáticos.

Os Modelos Iconográficos

São também chamados geométricos, concretos, físicos ou de imagens podendo ou não ser virtual. Para visualizar esta classe de modelos lembre dos seguintes objetos: mapas, fotografias, globos terráqueos, estatuetas do Cristo Redentor, maquetes de prédios, aviões de montar, estruturas de DNA e carrinhos de brinquedo. Todos esses são representações bidimensionais ou tridimensionais de uma realidade física. As representações feitas por computador também se encaixam neste tipo de modelo uma vez que o nosso cérebro os interpreta como sendo modelos reais tridimensionais vistos através de uma janela sólida transparente que não nos permite tocá-los.

O modelo tridimensional em escala de um avião de passageiros é construído a partir de plantas bidimensionais que constituem em meios muito úteis para a comunicação e armazenamento de informações. Este tipo de modelos é comum nos projetos de engenharia. Um exemplo clássico o constitui o modelo de um avião para o ensaio num túnel de vento, que é utilizado para simular o comportamento aerodinâmico de um avião real em vôo. Efetuando ensaios do modelo do avião em uma bem determinada faixa de condições aerodinâmicas, o engenheiro projetista interpretando os resultados dos ensaios, pode obter uma boa visão do desempenho do seu desenho.

Mediante este método, seja na forma bi ou tridimensional, se representa a imagem geométrica dos elementos dos sistemas físicos. A representação tridimensional não é outra coisa senão uma maquete que reproduz, em escala adequada, o sistema real. É muito utilizada para mostrar ao público em geral, não acostumado a outros tipos de representação, o aspecto geral da obra que se projeta, permitindo apreciar com clareza o seu aspecto estético e as prováveis interferências que possam se produzir e que são difíceis de visualizar nas plantas.

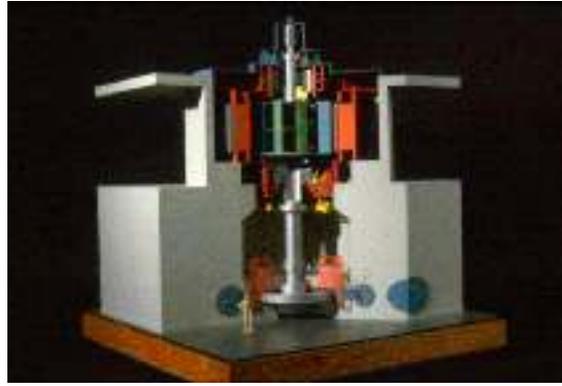


Figura 6-5 - Representação de um sistema de geração de energia elétrica impulsionado por uma turbina (Cortesia de Scale Models Unlimited²⁷).

A representação tridimensional é especialmente indicada quando se trata de representação em escala de plantas de processos químicos, por exemplo, para visualizar e corrigir o projeto das tubulações, quando essas são bastante complexas. Essa aplicação na atualidade está sendo substituída pela representação bidimensional em computadores, pelo uso de programas que permitem girar a imagem representada na tela, colocá-la em qualquer posição e observá-la de qualquer ângulo. Outros programas permitem ao mesmo tempo, a otimização do projeto das tubulações. Um caso particular são as plantas piloto. Pela sua elevada complexidade entre as relações das variáveis envolvidas e o seu elevado número é técnica e economicamente inviável projetar uma planta de processos físico-químicos a partir de experiências realizadas em laboratório. Assim, procede-se à construção de uma planta piloto onde se procura repetir em volume industrial a obtenção de produtos gerados em tubos de ensaio ou equipamentos de laboratório e introduzir as modificações ao processo para conseguir a sua otimização. Da planta piloto surgem as especificações para a realização do projeto definitivo com certeza da sua correta operação.

No projeto de grandes estruturas de engenharia tais como arranha-céus, pontes, e represas, é comum o uso de modelos arquitetônicos tridimensionais em escala reduzida, para dar uma visão real do projeto. Esses modelos são muito utilizados para representar o projeto aos interessados e observar o seu grau de aceitação ou impacto social.

²⁷ www.smu.com.



Figura 6-6 - Representação 3D computacional das instalações de uma planta fabril (Cortesia de Hansen Engineering Group Inc.²⁸)

A representação bidimensional é a mais utilizada nos projetos, especialmente nos desenhos em escala da representação ortogonal e chamados desenhos geométricos, ortográficos ou comumente “plantas”. Permitem visualizar o objeto ou sistema que se representa geralmente em três planos de projeção e seções apropriadas, dando uma idéia racional do mesmo, de forma que não haja dificuldades para a sua visualização e interpretação. Na representação bidimensional se incluem os desenhos em perspectivas nas suas modalidades isométrica e real. Incluem-se também as fotográficas e os mapas.



Figura 6-7 - Maquetes de um acesso a um conjunto habitacional e de uma ponte pênsil (Cortesia de Scale Models Unlimited²⁹)

Os esquemas são também representações bidimensionais. Representam elementos constitutivos ou isolados ou bem o conjunto de elementos relacionados entre si assim como nos planos ou desenhos ortográficos, mas, a diferença daqueles, se representam de forma bastante simples suprimindo detalhes e geralmente sem respeitar as escalas, mas guardando as proporções para dar uma idéia de funcionamento e da sua estrutura.

Quando se tratar de modelos para testes, esses devem ser equivalentes não somente nas suas dimensões geométricas em escala, mas também no seu

²⁸ <http://www.hansenengineeringgroup.com>

²⁹ www.smu.com.

comportamento físico (em escala adequada), por exemplo: corrente elétrica, número de Reynolds, vazão, velocidade, força, etc. Os modelos físicos são muito importantes para estudar sistemas onde a inter-relação dos componentes não é bem conhecida, de forma que a complexidade inerente inviabiliza o uso de modelos matemáticos. Assim, pela construção de uma réplica, o sistema é testado sob determinadas condições, permitindo a dedução das variáveis e leis que interagem no seu comportamento. Nestes casos, nem sempre se mantém a semelhança geométrica com o sistema geral, preterida para alcançar a semelhança no comportamento de acordo com uma teoria especial chamada Teoria dos Modelos.

Os Modelos Analógicos

São também chamados de abstratos. São modelos que aproveitam as analogias existentes entre os vários fenômenos físicos. Esses modelos se abstraem da forma real ou imitativa, alcançando grande generalidade. Na maioria dos casos, não mantêm nenhum parecido físico com o sistema real. Utilizam-se, preferentemente, dispositivos elétricos e eletrônicos para a sua materialização. Usando sinais elétricos de entrada que simulam variáveis independentes reais do sistema, se obterá uma saída ou resposta que, se corretamente interpretada, prediz a resposta do sistema real.

Uma ferramenta típica para esses modelos eram os antigos computadores analógicos. Portanto, a simulação analógica permite utilizar um meio que se comporta de forma análoga ao comportamento do sistema real. O meio pode ser aquele que mais convenha usando-se, por exemplo, água para representar aço em estado líquido, resistências, capacitâncias e indutâncias elétricas para representar sistemas térmicos, mecânicos e químicos.

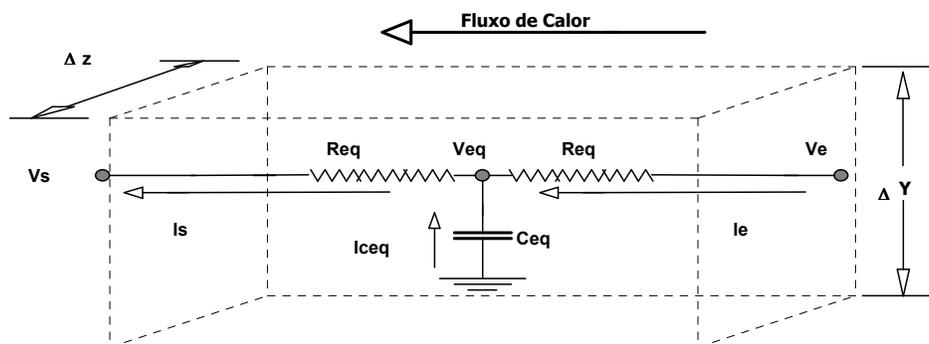


Figura 6-8 - Analogia entre sistemas elétricos e térmicos usados em modelos computacionais³⁰

³⁰ As resistências elétricas são proporcionais às resistências térmicas e o capacitor age de forma equivalente a um armazenador de calor. A corrente elétrica é equivalente ao fluxo de calor e os potenciais são equivalentes às temperaturas.

Os Modelos Diagramáticos

São também chamados de explicativos ou gráficos. Esse tipo de representação é geralmente bidimensional. Mediante linhas e símbolos se representa a relação entre duas ou mais variáveis que podem ser de natureza diversa. Este tipo de representação serve para mostrar relações quantitativas e qualitativas entre variáveis de um sistema, assim como podem mostrar o fluxo de materiais e/ou informações. Esta classe de modelo pode ser subdividida em **gráficos** e **diagramas**.

Os **gráficos** de engenharia, normalmente apresentam um sistema de eixos coordenados com escalas que indicam relações entre as variáveis do sistema, que podem ser: magnitudes físicas, padrões de medição e outras informações. As informações a serem representadas podem ser da forma quantitativa (mais comum) ou qualitativa.

Às vezes, na forma bidimensional se apresentam um sistema de eixos X, Y e Z, e a representação de uma superfície mostra a relação entre as três variáveis. Em casos mais complexos é necessário chegar a uma representação tridimensional. Outras vezes, a representação permite dar uma relação de três ou mais variáveis num sistema bidimensional de eixos X, Y, utilizando uma família de curvas. Um exemplo típico constitui o gráfico psicrométrico do ar úmido, que é mostrado na Figura 6-9.

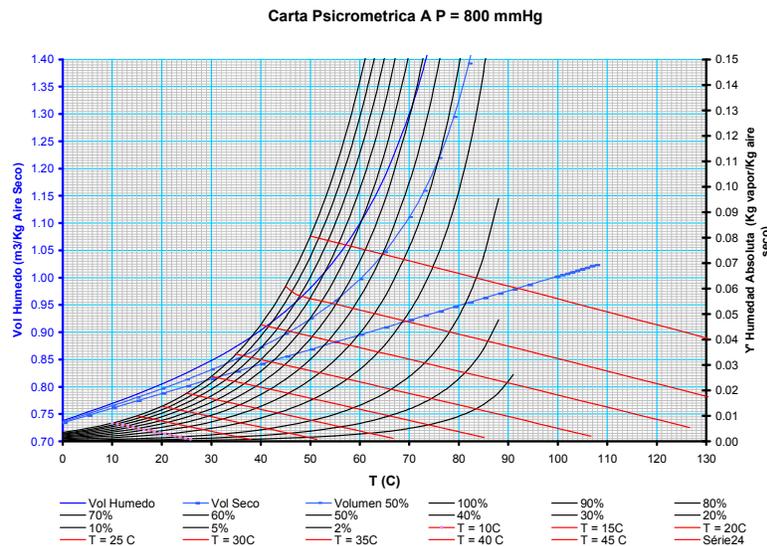


Figura 6-9 - Carta psicrométrica – Mostra a umidade relativa para uma determinada pressão atmosférica.

Usando estas representações gráficas, os engenheiros podem interpolar ou extrapolar valores sem a necessidade alcançar ditos valores por cálculo ou medição. Outras vezes os gráficos podem ser usados para representar valores relativos.

Neste caso, cada valor pode ser representado por colunas, barras, setores, etc. Um exemplo é a representação gráfica dos custos de produção mensal de um determinado produto, para a análise comparativa nos meses subsequentes.

Os **diagramas** são usados para mostrar a relação entre os distintos componentes de um sistema e quando se precisa analisar a sua estrutura e funcionamento, sem mostrar a conformação geométrica. Usualmente se apresenta o dispositivo ou sistema físico através de linhas e símbolos convencionais. Neste tipo de representação não interessa a forma geométrica do conjunto ou sistema, nem a de cada componente, sendo esses representados de forma simbólica convencional. Também não interessa o lugar relativo que ocupam no espaço o que geralmente se modifica com o objetivo de que as linhas que representam os vínculos ou fluxos resultem na representação mais simples com o menor número de cruzamentos.

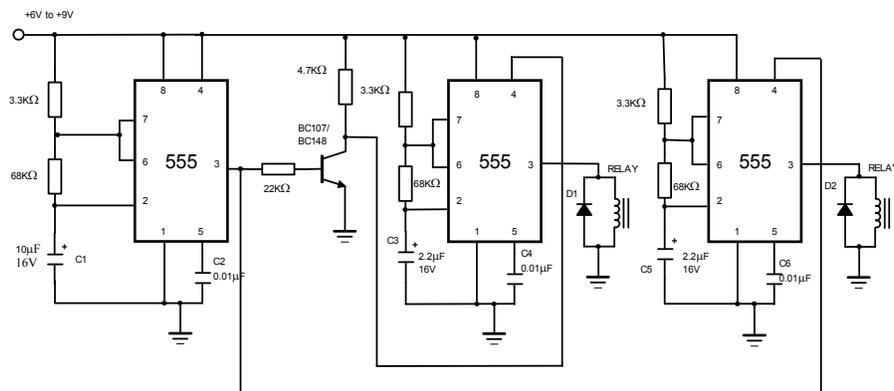
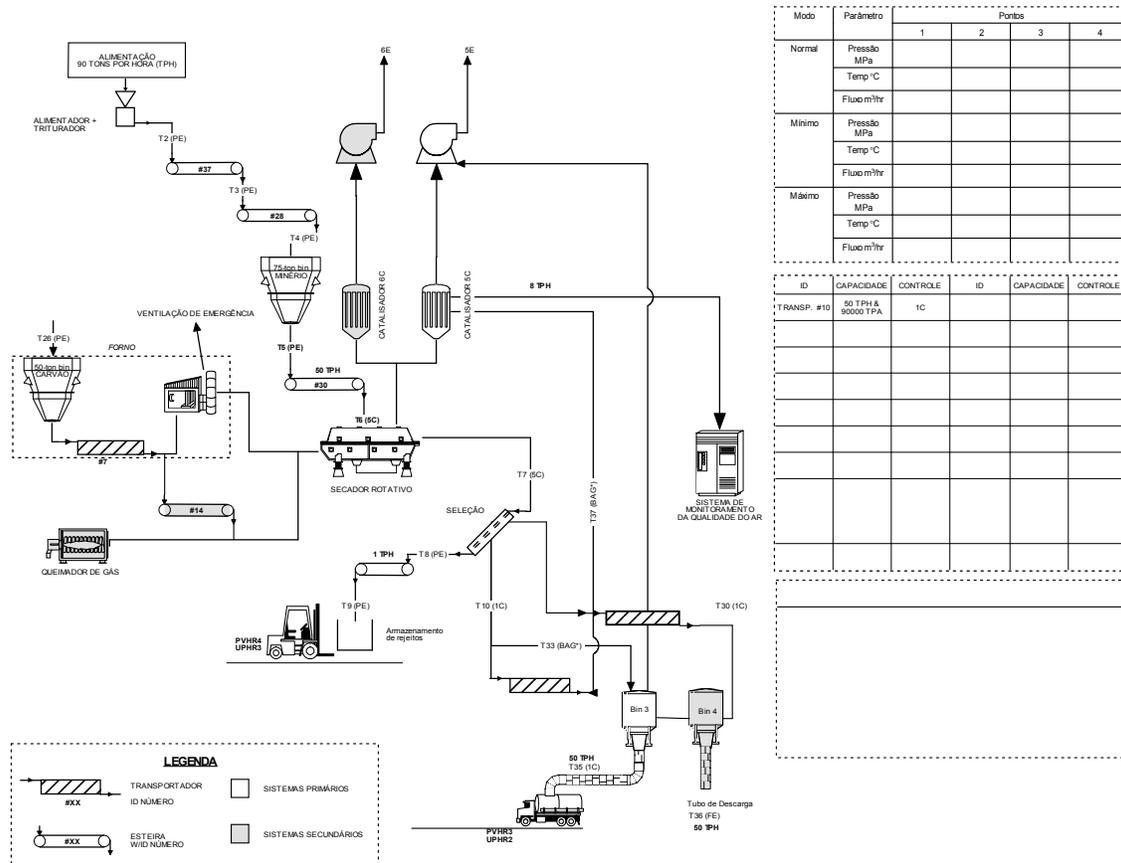


Figura 6-10 - Diagrama de um circuito eletrônico

Essa representação é muito vantajosa na representação de sistemas onde deve se observar o seu comportamento, funcionamento ou o vínculo entre os componentes. Muitos sistemas de engenharia estão compostos por um número de componentes inter-relacionados na forma de malha ou redes, tais como os sistemas de transporte, deságüe de uma cidade, sistemas telefônicos, circuitos elétricos, eletrônicos, hidráulicos e pneumáticos etc. que se podem modelar por meio de diagramas e estudar com esses o comportamento do sistema real.

Outros exemplos são ilustrados pela Figura 6-11, Figura 6-12 e na Figura 6-13. Em cada um deles um conjunto de linhas e símbolos representa de certa maneira a estrutura ou o comportamento de uma realidade. O engenheiro utiliza-se muito de métodos diagramáticos na visualização e para comunicação dos processos e sistemas.



| Modo | Parâmetro | Pontos | | | |
|--------|-------------|--------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Normal | Pressão MPa | | | | |
| | Temp °C | | | | |
| | Fluxo m³/hr | | | | |
| Mínimo | Pressão MPa | | | | |
| | Temp °C | | | | |
| | Fluxo m³/hr | | | | |
| Máximo | Pressão MPa | | | | |
| | Temp °C | | | | |
| | Fluxo m³/hr | | | | |

| ID | CAPACIDADE | CONTROLE | ID | CAPACIDADE | CONTROLE |
|---------------|-------------------|----------|----|------------|----------|
| T TRANSP. #10 | 50 TPH & 9000 TPA | 1C | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Figura 6-11 – Representação diagramática de uma fábrica de beneficiamento de carvão mineral.

Existem outros sistemas que sem ser físicos (por exemplo, o programa de execução de um projeto), que podem ser representados por modelos diagramáticos lineares que resultam em uma malha de atividades. Essa representação constitui uma ajuda valiosa já que permite analisar o comportamento de forma racional e metódica, e aplicar um método de cálculo apropriado.

Um sistema de malhas ou rede está representado por um conjunto de pontos unidos mediante um conjunto de linhas ou elementos simbólicos que se conectam a alguns desses pontos. Um exemplo típico é a modelagem de um sistema elétrico. Essa representação diagramática se denomina de modelo gráfico linear do sistema.

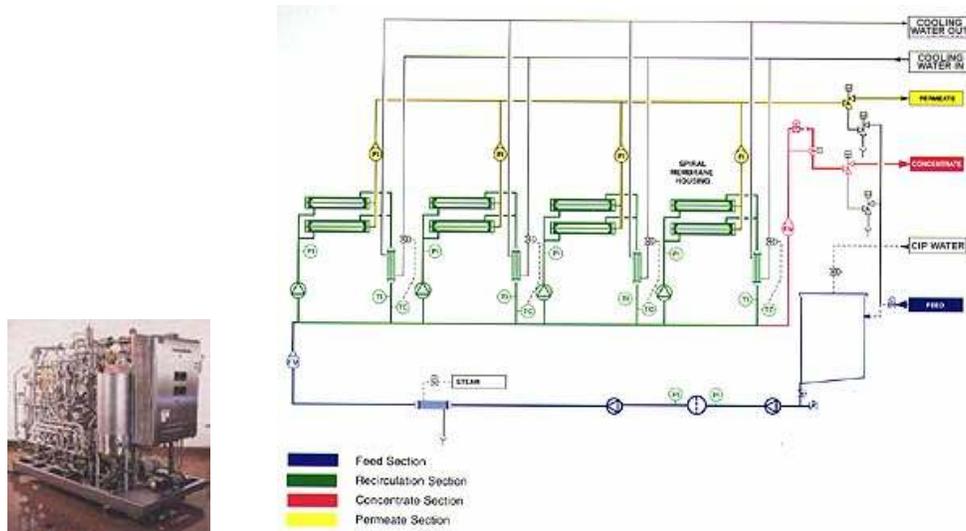


Figura 6-12 – Fotografia de uma Planta piloto de um sistema de filtração e o seu diagrama correspondente (Cortesia de Gea Filtration³¹)

Não se devem confundir com as representações geométricas que relacionam magnitudes físicas reais, i.e., representações topográficas, como os mapas de caminhos, por exemplo. Um problema típico que poderia ser representado e analisado como malha é o estudo da capacidade de fluxo de veículos de uma rede viária e a busca da solução mais econômica para um determinado valor de fluxo de veículos.

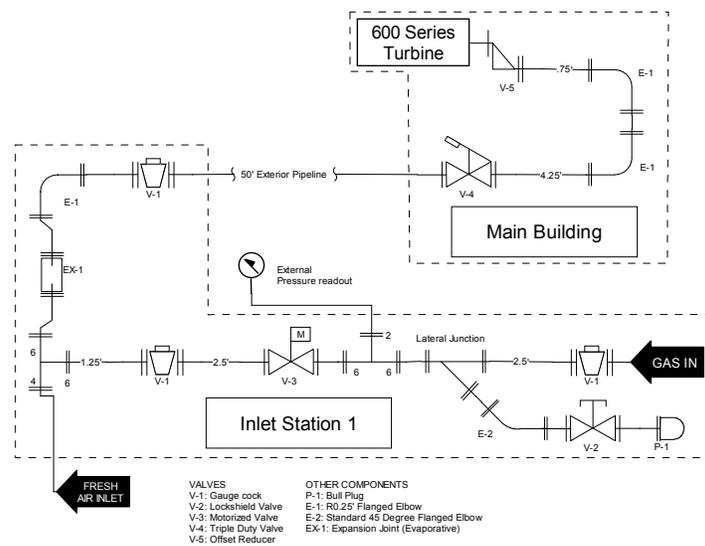


Figura 6-13 - Diagrama da instalação de uma usina termelétrica.

Existe ainda uma representação mista que conjuga a representação geométrica com a representação por gráficos de grandezas físicas através de variação de cores. São representações geralmente derivadas de processos computacionais, como por exemplo, o sistema mostrado na Figura 6-14. Nesse

³¹ www.geafiltration.com.

exemplo podem ser visualizadas as tensões mecânicas existentes no dispositivo durante a operação. O contraste de cores dá uma noção qualitativa dos pontos geométricos mais solicitados, entretanto o tipo de cor carrega a informação quantitativa.

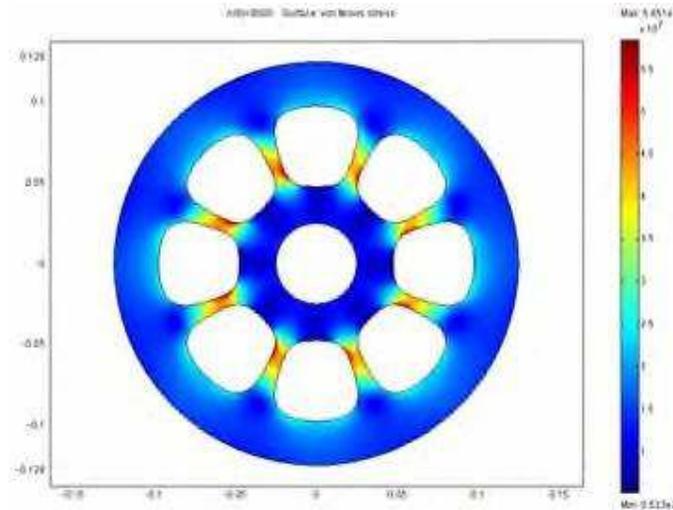


Figura 6-14 - Gráfico da distribuição de pressão em uma polia.

Os Modelos Analíticos ou Matemáticos

Os modelos matemáticos podem ser considerados como uma simbolização dos modelos concretos. Um modelo físico se transforma em matemático quando se substituem os elementos geométricos e outras grandezas físicas, por relações numéricas. É possível a obtenção de um modelo matemático de um sistema a ser analisado se as características dos seus componentes, a sua estrutura e as suas interações possam ser matematicamente definidas.

Os modelos matemáticos dos fenômenos físicos surgem da experimentação e, portanto, são aproximações que permitem quantificar as mais diversas variáveis relacionadas incluídas no modelo.

Mediante a aplicação de símbolos representativos de fenômenos e magnitudes físicas, e aplicando as leis formais da matemática, podem se obter expressões que, convenientemente transformadas, permitem fazer previsões sobre o que pode acontecer, sob condições pré-estabelecidas, em um sistema ou elemento componente.

Os modelos matemáticos são mais simples e as conclusões derivadas desses podem ser as mais exatas, constituindo-se na mais poderosa ferramenta para a simulação do sistema real, quando aplicados em softwares de análise numérica em computadores.

A matemática é um método de representação muito importante, fundamentalmente útil para a comunicação por ser universalmente compreensível. A representação matemática proporciona além da possibilidade de prever, um instrumento de raciocínio lógico incomparável.

A representação de um sistema ou objeto de um projeto apresentada com o seu modelo matemático, contém informação específica do objeto que representa, entretanto para a sua interpretação se requer do conhecimento de regras pré-determinadas. O meio para a representação é o simbolismo matemático e obriga ao conhecimento dessa ciência para a sua interpretação.

Geralmente a representação matemática requer do auxílio de representações esquemáticas para definir com clareza o sistema e ajudar na interpretação dos símbolos e variáveis utilizados. Um exemplo desse tipo de representação é mostrado na Figura 6-15.

$$\begin{aligned}\frac{\ddot{y}}{\omega_n^2} + 2\xi \frac{\dot{y}}{\omega_n} + y &= x \\ x &= \frac{f}{k} \\ \omega_n &= \sqrt{\frac{k}{m}} \\ \xi &= \frac{\lambda}{2 \cdot \sqrt{k \cdot m}}\end{aligned}$$

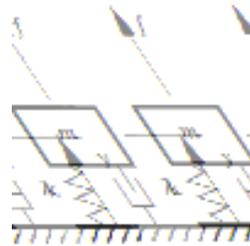


Figura 6-15 - Representação matemática e diagramática de um sistema de suspensão de automóvel.

O modelo matemático que relaciona o volume de um gás com a sua massa, temperatura e pressão pode ser expresso da seguinte maneira:

$$V = \frac{m \cdot R \cdot T}{p \cdot M}$$

Onde **m** é a massa, **p** a pressão, **T** a temperatura, **M** o peso molecular e **R** a constante universal dos gases. Esse modelo permite um meio de prever o volume que o gás ocupará para determinadas condições, ou pela manipulação algébrica dessas variáveis, poderia permitir prever a temperatura do gás para determinadas condições de volume e pressão. De forma análoga existem os modelos matemáticos dos fenômenos da natureza para os sistemas eletroeletrônicos, estruturas, mecanismos e processos compostos.

Além de ser uma poderosa ferramenta de quantificação, a matemática é importante para o estudante, pois permite desenvolver consideravelmente a sua



capacidade de pensar de forma lógica além de exercitar o raciocínio abstrato. O conhecimento profundo dessa ciência permite ao engenheiro deduzir e utilizar modelos matemáticos que lhe permitirão representar as muitas situações especiais que encontrará na prática e das quais ainda não existem modelos prontos.

Os modelos matemáticos inibem a utilização do método empírico e da tentativa e erro, diferenciando o trabalho dos engenheiros ao dos “aventureiros”, reduzindo incertezas (e os custos!) nos seus mais variados projetos e assegurando a qualidade e segurança dos seus produtos. A enorme utilidade da matemática como ferramenta de previsão, comunicação e raciocínio justificam o grande destaque que esta ciência possui nos currículos dos cursos de engenharia.

Todos os projetos dos engenheiros devem documentar as decisões técnicas feitas, baseadas em modelos matemáticos. Se existirem modelos análogos para a análise dos problemas de engenharia, não se justifica a omissão no uso desses em troca do conhecimento empírico. Não existe engenharia sem matemática.

Todas as soluções de engenharia devem ser respaldadas pela aplicação dos modelos matemáticos apropriado ao tipo de fenômeno físico envolvido. Qualquer proposta que não envolva a aplicação dos conceitos físicos deve ser considerada duvidosa e não deve ser aceita. Um exemplo, que a cada quatro anos se repete é a geração do modo contínuo de energia. Sempre me aparecem aventureiros (não-engenheiros) dizendo ter projeto de um sistema que possibilita, através de mecanismos extravagantes, produzir energia de forma contínua pelo simples movimento harmônico da geringonça aproveitando a força gravitacional. Já vi este tipo de “estória”, boa para boi dormir, ser publicada no jornal de domingo e na televisão, onde apareciam os autores e os políticos (como sempre...) dizendo apoiar o projeto e buscando patrocinadores para implementar o projeto. Este tipo sistema é irrealizável pela simples razão de que a entropia somente aumenta no nosso universo observável (até uma criança com bom senso se dá conta que a proposta é ridícula). Talvez seja um projeto viável em algum outro universo paralelo onde as leis da natureza sejam outras, ou talvez, os políticos de plantão que apareceram na entrevista apoiando essas obras com dinheiro público (é óbvio) possam revogar as leis da natureza e propor outras, que lhes dêem maiores vantagens (econômicas).

Os cálculos matemáticos podem ser discretizados e implementados nos computadores usando regras específicas aproximadas chamadas de métodos numéricos. Com programas que implementam os métodos numéricos nos modelos matemáticos os engenheiros podem simular e analisar os seus projetos sem que estes ainda tenham sido concretizados. É importante que o engenheiro tenha

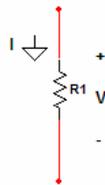
conhecimento sobre os métodos numéricos e a forma de implementá-los através das linguagens de programação mais usadas na engenharia (FORTRAN, C e C++); que saiba utilizar programas genéricos de cálculo (Excel®, MatLab®, MathCad®, Matemática®, Mapple®, etc.) e ainda programas específicos de simulação.

6.4.3. Classificação dos Modelos segundo as Características de Resposta

Um modelo, assim como o sistema que ele represente, ante a ação de um estímulo externo pode permanecer inalterável ou modificar o seu estado. Sob esse aspecto os modelos, assim como os sistemas que esses representam, podem ser classificados em estáticos e dinâmicos.

Modelos Estáticos

Os modelos estáticos são aqueles que ante uma perturbação externa momentânea e após um determinado período de tempo apresentam uma resposta estacionária que não mais se modifica. A perturbação pode provocar respostas transitórias, tais como pequenas deformações elásticas em sistemas mecânicos, que desaparecem ao cessar da mesma quando são estáveis, ou conduzir à ruptura do modelo quando resulta instável. Este tipo de modelo é útil quando não se deseja analisar a variação da resposta a diversos estímulos. A Figura 6-16 mostra o modelo estático de um resistor elétrico.



$$V = R_1 \cdot I$$

Figura 6-16 - Modelo estático de um resistor elétrico

Modelos Dinâmicos

Os modelos dinâmicos são modelos que representam o comportamento de sistemas dinâmicos, que modificam o seu estado ante as ações de perturbações externas, seguindo certas leis próprias. Esses modelos são **estáveis**, quando em resposta a uma ação externa chegam a um estado permanente estacionário (se estabilizam) através de um regime transitório amortecido; ou **instáveis** quando não existe regime transitório e a resposta varia continuamente com o tempo, como é o caso das oscilações **permanentes**, quando a amplitude das oscilações é mantida indefinidamente; ou **explosivos**, quando a amplitude da resposta à perturbação é

crescente no tempo até a sua destruição. A Figura 6-17 mostra um modelo dinâmico de um resistor elétrico.

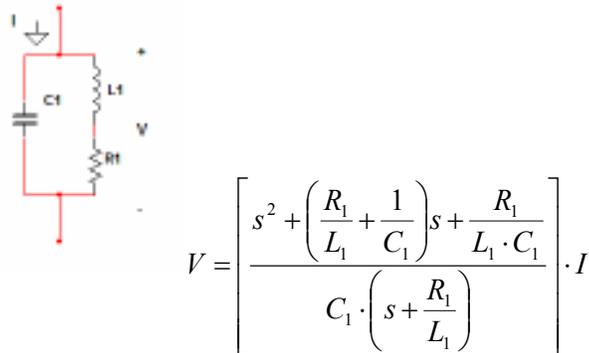


Figura 6-17 - Modelo dinâmico de um resistor elétrico (alta frequência)

6.5. O Uso dos Modelos

Um modelo nada mais é do que uma simples hipótese. Uma vez ensaiado, se os resultados são satisfatórios e as suas respostas coincidem com o comportamento do sistema real que se pretende representar, então poderá servir de representação.

Se o modelo é simplificado, será uma quase-representação do sistema real. Quando o modelo é uma construção matemática simplificada do sistema real e resulta pouco complicada, a sua simulação se torna simples, rápida, econômica e as suas repostas conduzem aos melhores resultados.

No caso de sistemas complexos nem sempre é trivial uma representação matemática que permita resolver completamente os problemas que apresentam nos numerosos subsistemas. Nesses casos é necessária a utilização de um elevado número de modelos e ainda assim, alguns deles resultam complicados pela difusa relação entre as suas numerosas variáveis. Nesse caso, é possível aplicar aproximações numéricas em computadores e os métodos estatísticos. Esses métodos conduzem a cálculos muito complexos e utilizam bastantes recursos dos computadores.

Na modelagem e simulação de um sistema complexo, em geral se recorrerá a todos os tipos de modelagem para conseguir a melhor representação do sistema total.

6.5.1. A Validade dos Modelos

O desenvolvimento de um modelo requer de um alto grau de habilidade criativa, conhecimento científico e tecnológico, e de um claro entendimento das limitações e valores a utilizar, no entorno no qual existe o problema. Quando o



sistema de engenharia é muito complexo, o número de fatores e variáveis que intervêm no mesmo é tão grande que se torna necessário fazer simplificações. Outras vezes, as simplificações ocorrem como consequência da limitação dos recursos e do tempo reservados ao projeto.

Um mesmo sistema se pode representar mediante dois ou mais modelos, segundo sejam as características que se esperam analisar. Esses não serão modelos contraditórios nem excludentes, mas sim, complementares. A validade de um modelo deve provar-se na confrontação com os fatos experimentais. Somente serão considerados válidos os modelos que tenham sido verificados na prática. Um modelo bem definido não será verdadeiro nem falso, será útil ou inútil, sempre dependendo da aplicação no qual será utilizado. Será considerado aceitável quando dele podem se obter resultados ou conclusões válidas e úteis.

O maior risco que apresentam os modelos é que constituem uma representação simplificada do sistema real. Não deve se confundir a precisão de um modelo com a realidade sempre mais complexa que se pretende representar. O modelo não é uma realidade embora possa ser considerado como se assim o fosse. Deve se ter sempre presente que se ele se parece com o sistema real somente na sua estrutura e que todas as características alheias ao sistema são também alheias ao modelo. Por exemplo, observe o modelo matemático da Figura 6-16, que é conhecido como Lei de Ohm. Esse modelo matemático relaciona a corrente, tensão e resistência elétricas. Não há menção de outras variáveis que podem degradar a exatidão da relação, tais como temperatura, pressão, umidade, etc. No caso que estas últimas grandezas possam alterar o comportamento do modelo simplificado, deverão ser incluídas alterações no modelo original, às vezes, por meio de muita experimentação e pesquisa.

O modelo matemático do comportamento dos gases $V = \frac{m \cdot R \cdot T}{p \cdot M}$, conhecido como a equação dos gases perfeitos, foi estabelecido estabelecendo certas hipóteses baseadas num comportamento das moléculas que se sabe não é totalmente verdadeiro, no entanto as previsões fornecidas por esse modelo são bastante aproximadas para tê-lo como modelo adequado para praticamente todos os gases leves.

Todos os modelos supõem certas hipóteses que os mantêm simples permitindo previsões aproximadas. Sem essas hipóteses simplificadoras, poderia ser impossível a construção e utilização de um modelo matemático. Nas aplicações práticas a aplicação de certas hipóteses simplificadoras, que deixa de lado certas



características que são consideradas como irrelevantes para o fenômeno que se deseja analisar ou testar e usualmente não representam um erro que chegue a invalidar o modelo.

Na elaboração dos modelos é sempre vantajosa a sua simplificação pela deliberada omissão de certas variáveis desde que não se prejudique a sua utilidade. Veja por exemplo o modelo conhecido como lei de Ohm que é representado pela seguinte equação: $i = \frac{V}{R}$; onde i é a corrente elétrica que depende proporcionalmente da tensão elétrica aplicada V e da resistência R do material à passagem de cargas elétricas. Este modelo omite a **pressão** que pode estar sendo exercida encima do componente, como é o caso de aplicações em robôs de prospecção submarina onde o resistor pode alterar o seu valor nominal devido à pressão hidrostática inutilizando a validade do modelo. Entretanto, esse modelo simplificado pode ser usado na maioria das aplicações onde a pressão atmosférica é quem determina as condições de operação.

As propriedades de um modelo que praticamente não afetam o comportamento de um sistema devem ser deixadas de lado, pois não representam em um ganho apreciável nas aproximações e deixam os modelos mais custosos, complicados e demorados.

Veja o exemplo do teste aerodinâmico de aviões feito por simulação em computador, onde se aplicam massas de ar com velocidades variáveis e se calculam as forças de fricção e pressão. Usualmente os modelos somente incluem variáveis tais como massas, geometrias, coeficientes de atrito e coeficientes de deformação. Nestes casos não se justifica incluir modelos matemáticos das poltronas, dos maleiros e dos banheiros, pois, embora eles façam parte do avião real, eles não são necessários para efetuar as estimativas de resistência ao avanço.

A omissão de grandezas ou características importantes, por outro lado, pode resultar em erros graves de previsão. O engenheiro deve ter grande cuidado ao estabelecer as suas hipóteses de forma a prever sempre os piores casos. É sempre desejável que o engenheiro discuta as suas hipóteses simplificadoras com outros colegas para analisar outros pontos de vista.

Como regra geral, o engenheiro deve ser hábil em estabelecer quais são as hipóteses simplificadoras que permitem economizar a preparação e utilização dos modelos. Essa habilidade de simplificar para facilitar o controle e análise da situação sem aumentar a probabilidade de erros graves é uma arte que o engenheiro adquire com a prática.



6.5.2. O Significado dos Modelos

Mesmo com todo o descrito anteriormente a amplitude do conceito do modelo pode não ficar evidente ao estudante iniciante de engenharia. O seu significado, a sua natureza simplificadora e unificadora provavelmente se torne mais claras com o tempo e a experiência. A palavra escrita “avião” é um modelo gráfico (gramatical) de uma realidade física assim como a expressão oral através de palavras faladas. Uma partitura musical não é a música em si, no entanto desse modelo pode surgir beleza e harmonia, pela descrição codificada de estruturas e seqüências musicais. Sempre existe uma correlação, imperfeita, entre o modelo e a realidade que ele representa. Assim, você pode notar a importância do uso dos modelos na formação e atuação do engenheiro.

Na formação dos engenheiros, as disciplinas iniciais de Desenho Técnico e Geometria Descritiva têm como objetivo preparar os futuros profissionais na implementação e interpretação de modelos iconográficos, diagramáticos e gráficos. As disciplinas de geometria analítica, álgebra linear, cálculo diferencial e integral, matemática aplicada, modelagem de sistemas dinâmicos, estatística e métodos numéricos, têm como objetivo preparar os futuros profissionais na interpretação, manipulação e construção de modelos matemáticos. Nas disciplinas de química e física estudam os modelos básicos que representam os fenômenos físicos e químicos da natureza. As disciplinas de português e inglês ajudam na capacidade de preparar modelos descritos nas formas oral e escrita.

Nos cursos de engenharia se aprendem e utilizam muitos outros tipos de modelos que são aplicados na solução de problemas. A seguir, são comentadas algumas aplicações de modelos na prática profissional da engenharia e a potencialidades dessas ferramentas.

Os Modelos como Ferramentas para auxiliar no Discernimento

Os modelos facilitam a visualização dos fenômenos naturais, tais como geometrias e comportamento a estímulos pré-determinados. Sem eles, a percepção e quantificação seriam bastante difíceis apenas pelo esforço mental da imaginação.

Nos problemas de engenharia existem sistemas tão complexos que sem a ajuda dos modelos seria impossível resolvê-los, por exemplo, os micro-circuitos digitais com dezenas de milhões de transistores interconectados nas mais variadas formas, enormes sistemas de produção industrial, imensas estruturas, maquinário gigante e outros. Os modelos diagramáticos, gráficos e iconográficos são



especialmente importantes para se obter uma visão simplificada do conjunto de elementos que compõem o sistema.

Os modelos servem para melhorar a eficiência das soluções. Assim, os engenheiros costumam fazer representações simples, rápidas e isentas de complicações irrelevantes. Por exemplo, um engenheiro eletricitista num determinado nível de abstração, pode imaginar a tensão e corrente elétrica sobre uma carga, como um sinal senoidal representado na sua forma gráfica no lugar de imaginar o movimento de elétrons e a distribuição das cargas dentro dos condutores, como mostra a Figura 6-18. Às vezes eles também podem abstrair a realidade dessas grandezas na forma de vetores que giram no espaço com a frequência da rede de alimentação.

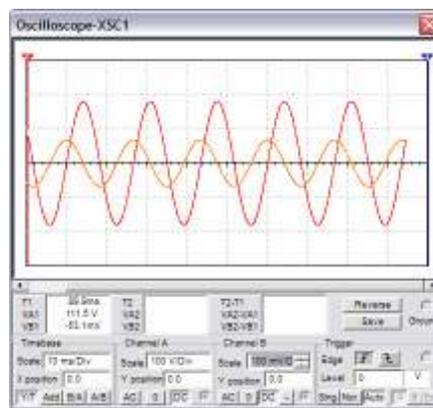


Figura 6-18 – Abstração da tensão e corrente elétrica num motor de indução.

Os engenheiros aeronáuticos submetem os seus modelos em escala ou computacionais a estímulos que simulam o comportamento dos seus sistemas durante o voo. Os engenheiros civis, da mesma maneira, submetem os seus modelos de pontes a estímulos que representam ventos e terremotos da vida real. Em geral, os engenheiros verificam e imaginam a resposta dos seus projetos aos fenômenos físicos de forma gráfica, como mostra o exemplo da Figura 6-19. Assim, os engenheiros abstraem os fenômenos físicos nas formas de modelos gráficos, matemáticos (computacionais) e diagramáticos. O trabalho mental de engenharia usualmente fica no campo das abstrações.

Pelo descrito acima, você pode perceber que um dos principais objetivos na formação do engenheiro é o de desenvolver a capacidade de abstração, mesmo para fenômenos que podem ser observados diretamente.

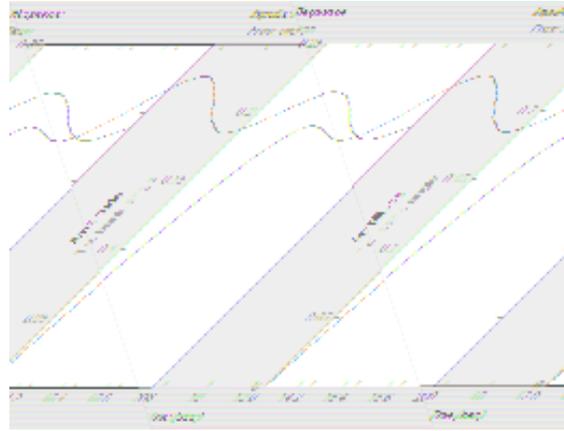


Figura 6-19 - Representação gráfica da resposta da asa secundária de um avião a uma rajada de vento.

Os Modelos como Ferramentas para a Comunicação

Os modelos também podem servir para descrever a natureza e o funcionamento dos dispositivos que os engenheiros projetam, sendo especialmente para quem deverá aprovar, construir, operar ou manter o dispositivo gerado pelo projeto. Os modelos em si carregam informações relevantes sobre os projetos e são utilizados como ferramenta de comunicação.

Os Modelos como Ferramentas de Previsão

Os modelos que ajudam na previsão do comportamento de um dispositivo são de especial importância na engenharia, pois eles permitem testes com parâmetros de entrada variáveis onde podem se determinar os índices de desempenho úteis na comparação com outras alternativas de solução.

Os modelos matemáticos são especialmente úteis, pois permitem ao engenheiro efetuar vários testes e decisões sem a necessidade de construir a solução. Os modelos matemáticos permitem implementar simulações, através de métodos numéricos que são implementados por programas de computador resultando em testes rápidos, econômicos e objetivos das várias alternativas de solução.



Figura 6-20 – O desastre da ponte do rio Tacoma poderia ter sido evitado pelo uso de modelos adequados.

Imagine o projeto de levar homens até o planeta Marte. Não há condições econômicas de enviar uma astronave não tripulada para testar se ela vai funcionar ou não. Usualmente neste tipo de projeto o próprio modelo é o protótipo, e também é o dispositivo final. Nestes casos as simulações computacionais são de especial importância. Os modelos matemáticos e computacionais são úteis quando não se pode confiar no julgamento pessoal (o tão comum “eu acho que...”), quando não há condições técnicas, de segurança ou econômicas de elaborar protótipos adequados.

Os Modelos como Ferramentas para o Controle

Existem casos onde o objetivo do modelo é de servir de forma ou padrão, como é o caso das plantas de edifícios, circuitos esquemáticos, etc., onde se deseja que o produto a ser construído siga as instruções estabelecidas no modelo. Isto serve também para modelos de comportamento, onde se estabelece o comportamento desejado e para isto se tenta controlar as variáveis relevantes ao sistema para que isso aconteça.

Os ônibus de passageiros têm horários estabelecidos para efetuar o seu recorrido, entretanto o número de paradas e o tempo das mesmas é variável e pode afetar o desempenho final e atrasar o tempo previsto. Para poder cumprir os horários estabelecidos, i.e., seguir o modelo estabelecido, os motoristas devem aumentar ou diminuir a sua velocidade nos trajetos entre as paradas para compensar eventuais atrasos ou adiantamentos. Isto normalmente é feito automaticamente por um computador de controle de tráfego nos trens e metrô das grandes cidades.

Um outro exemplo é a fabricação do aço nas máquinas de lingotamento contínuo, onde para maximizar a qualidade e quantidade da produção devem ser mantidas certas condições de resfriamento e de velocidade dentro de certos limites.



Essas grandezas devem ser modificadas à medida que mudam a composição físico-química das ligas envolvidas.



Figura 6-21 – Máquina de Lingotamento Contínuo.

Para manter os valores dessas grandezas dentro dos limites, sensores especiais detectam as variações e se comunicam com um computador onde está armazenado um modelo matemático que calculará e tomará as decisões de aumentar ou diminuir a velocidade e controlará os sistemas de resfriamento para manter a produção dentro dos fatores pré-estabelecidos. Assim, este sistema de controle tentará controlar a realidade de acordo com o comportamento desejado que esteja definido no modelo.

Os Modelos como Ferramentas Didáticas

Os modelos servem como ferramentas de análise e comunicação. Os diagramas, gráficos, modelos em escala e outros tipos de representações podem, e são usados na educação e instrução de pessoas.

Existem máquinas que simulam o comportamento real de automóveis, aviões e barcos, servindo de base de treinamento para os pilotos sem ter que realmente decolar até estar prontos para tamanha responsabilidade. Essas máquinas podem implementar de forma bastante realista o funcionamento de veículos através de modelos computacionais.

6.5.3. Como Construir Modelos Matemáticos de Previsão

Todos os modelos de previsão da Física têm a sua origem na experimentação e normalmente são representados por equações matemáticas. São efetuados experimentos e os resultados são correlacionados com as supostas variáveis ou

grandezas envolvidas. Para isto se requerem de instrumentos de medição e de padrões de medida que apresentem um mínimo de exatidão e de grau de incerteza.

O ponto forte (e fraco ao mesmo tempo) dos modelos da física é o de serem muito genéricos e normalmente não há como aplicá-los diretamente aos problemas de engenharia sem implicar em grandes erros. Os engenheiros devem adaptar os modelos genéricos às suas aplicações e acrescentar aos mesmos, outras características relevantes do sistema real a ser projetado.

O procedimento a seguir descrito é parecido com o adotado na prática para estabelecer modelos de previsão. Esse procedimento tem importância fundamental tanto para o cientista quanto para o engenheiro.

Exemplo para Elaboração de Modelos de Previsão

Descrição do Problema: Um dos subsistemas de um problema de engenharia envolve a medição de nível de um fluido viscoso usado em processos metalúrgicos de microfusão. Para o efeito foi escolhido usar o efeito capacitivo duas lâminas paralelas a serem inseridas no fluido, dentro de um recipiente rotatório a uma distância fixa com relação ao chão. O processo envolve vários dias e sofre evaporação da água e, portanto a redução do nível e conseqüente aumento da viscosidade pelo aumento da densidade.

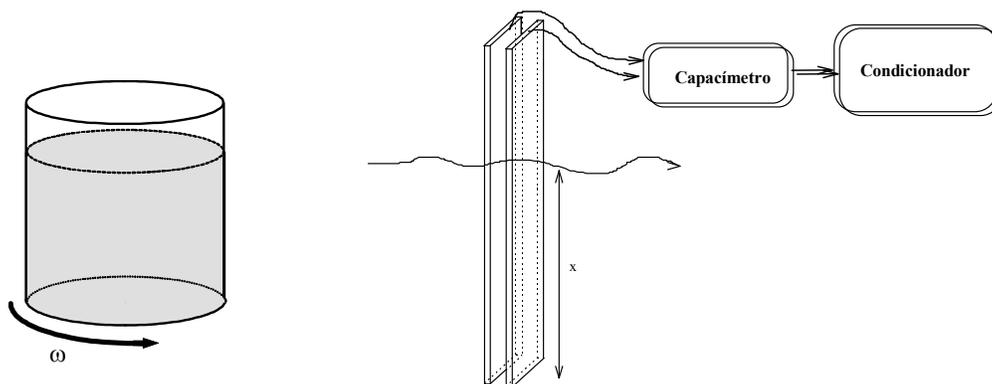


Figura 6-22 - Recipiente Rotativo e sensor de nível por efeito capacitivo.

Passo 1

Existem modelos estabelecidos que relacionem a capacitância do capacitor com as suas características geométricas e pelo tipo de material inserido entre as duas placas condutoras: $C = \epsilon \frac{A}{\ell}$, onde C é a capacitância, ℓ é a distância entre as duas placas, ϵ é constante dielétrica do meio entre as placas e A é a área. Este é um modelo genérico e não pode ser usado diretamente, precisando de fazer as adaptações necessárias pois o dielétrico varia de acordo com o nível x .



A constante dielétrica é constituída de dois materiais possíveis, o material cujo nível quer ser medido e o ar que preenche o restante do espaço. Assim, o capacitor resultante pode ser modelado como a soma de duas capacitâncias em paralelo:

$$C_T = C_{Mat} + C_{Ar} = \varepsilon_{Mat} \frac{b \cdot x}{e} + \varepsilon_{ar} \frac{b \cdot (L-x)}{e} = \frac{b}{e} [\varepsilon_{Mat} \cdot x + \varepsilon_{Ar} \cdot (L-x)] \text{ onde } \mathbf{e} \text{ é a distancia}$$

entre as placas, \mathbf{b} a largura das mesmas, \mathbf{x} é o comprimento no fluido e \mathbf{L} o comprimento total das hastes. O modelo teórico adaptado para o caso ficou da seguinte forma:

$$C_T(x) = \frac{b}{e} \cdot \varepsilon_{Ar} \cdot L + \frac{b}{e} \cdot (\varepsilon_{Mat} - \varepsilon_{Ar}) \cdot x$$

Os valores de \mathbf{b} , \mathbf{e} , ε_{Ar} , e \mathbf{L} são conhecidos. O valor de ε_{Mat} não é conhecido, no entanto se levanta a suposição de que o seu valor varia muito pouco durante o processo³². Assim o modelo teórico adaptado ficou arbitrariamente simplificado como:

Então, para prever o nível do fluido de acordo com a medição da capacitância usa-se o seguinte modelo matemático:

$$C_T(x) = a + k \cdot x \quad [\text{F}]$$

Onde

$$a = \frac{b}{e} \cdot \varepsilon_{Ar} \cdot L$$

e

$$k = \frac{b}{e} \cdot (\varepsilon_{Mat} - \varepsilon_{Ar})$$

Como o sistema requer de medição eletrônica, foi inserido um circuito para medição da capacitância com o seguinte modelo matemático:

$$V_o(C_T) = d + f \cdot C_T \quad [\text{V}]$$

Onde \mathbf{d} e \mathbf{f} são variáveis que dependem dos valores escolhidos para os capacitores de resistores do circuito da Figura 6-23 e V_o é a tensão elétrica da saída do condicionador.

³² Esta suposição deverá ser confirmada (ou não) na prática.

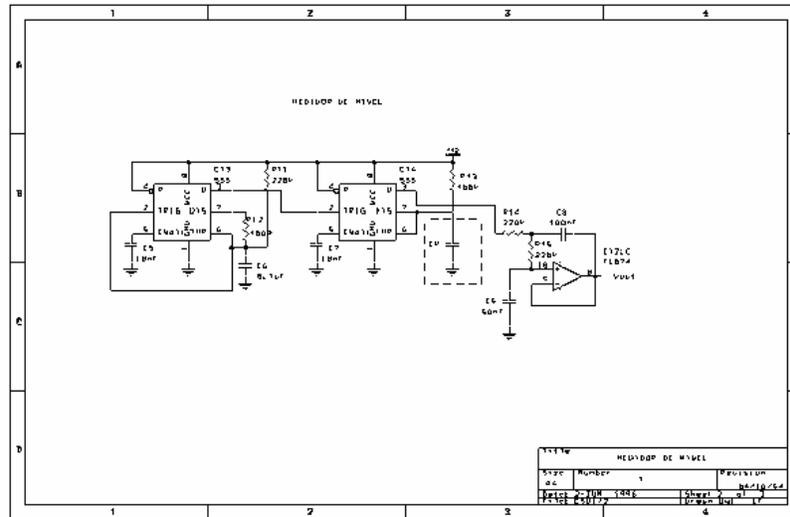


Figura 6-23 – Circuito condicionador para a medição de nível.

O modelo resultante depois do condicionador ficou:

$$V_o(x) = g + h \cdot x$$

Onde a tensão elétrica gerada é diretamente proporcional ao nível de fluido. Os valores das constantes **g** e **h** dependem das resistências e capacitâncias dos componentes do circuito eletrônico, dos valores das constantes dielétricas do fluido e do ar e da geometria das hastes sensoras.

Passo 2

Os fundamentos da dedução da fórmula não interessam a presente descrição. O importante é que tenha sido escolhido um modelo teórico de previsão que possa prever de forma satisfatória o nível do fluido sob certas hipóteses que são:

- A distância entre as placas e se mantém exatamente a mesma em todos os pontos do comprimento das hastes.
- O valor da constante dielétrica do ar é considerado constante independente da pressão atmosférica, temperatura ambiente e a umidade relativa do ar.
- O valor da constante dielétrica do fluido é considerado constante independente das variações das grandezas do item anterior.
- Considerou-se o fluido como sendo incompressível.
- As hastes não se deformam e nem sofrem deslocamento relativo entre elas.
- Os dispositivos elétricos e eletrônicos do condicionador não se alteram com a temperatura nem com o tempo de uso.

Com estas hipóteses simplificadoras não haverá dificuldades em estabelecer o modelo de previsão que é relativamente simples. Entretanto, quais serão os erros resultantes das suas previsões, se como é de esperar, uma ou mais hipótese não forem satisfeitas? No momento, a capacidade de previsão do modelo ainda é



incerta, faltando para decidir, avaliar se os resultados serão suficientemente exatos para os fins desejados.

Neste caso em especial, o modelo foi baseado em conhecimentos gerais da eletricidade, na lógica e em cálculos matemáticos relativamente simples. Pode acontecer em outros casos que modelo resulte diretamente de ensaios preliminares, de experiências anteriores ou simplesmente pelo raciocínio puro. De uma forma ou de outra se escolhe um modelo para representar a situação em caráter experimental³³.

Passo 3

O passo seguinte consiste em comparar as previsões fornecidas pelo modelo com o que ocorre na realidade. Para isso se realizam uma série de experiências com diferentes níveis de fluido, medindo a tensão na saída do circuito eletrônico. Com os mesmos valores se calculam os níveis usando o modelo teórico de previsão.

Para cada conjunto de condições se obtém um valor para o nível medido e outro para o calculado. Os resultados podem ser representados graficamente como mostra a Figura 6-24.

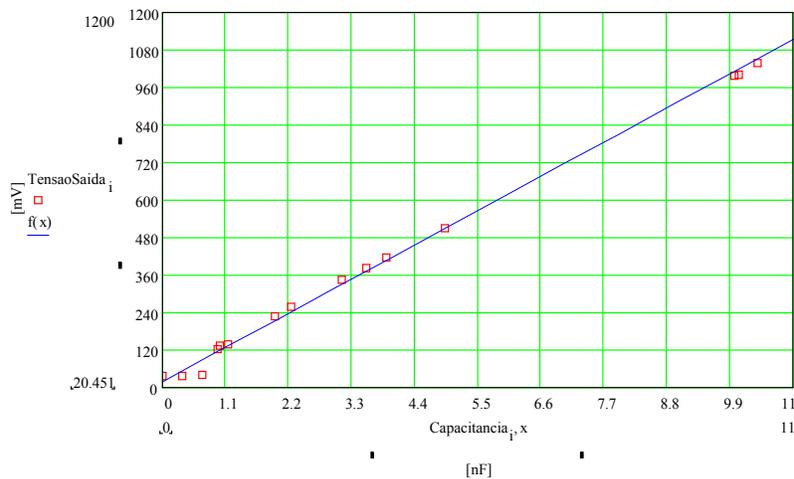


Figura 6-24 - Comparação entre os resultados medidos e os calculados³⁴.

³³ No momento da seleção inicial dos modelos é preferível escolher um modelo relativamente simplificado, pois nesta fase é possível estabelecer muitas hipóteses simplificadoras que podem ser necessárias pelos motivos que seguem. Se o modelo vier a apresentar suficiente precisão não se terão desperdiçado esforços para remover suposições não-realísticas. Além disso, a experiência revela que as tentativas de estabelecer modelos desde o início isentos de hipóteses indesejáveis, não são proveitosas. É geralmente mais razoável tentar primeiro preparar um modelo relativamente simples que represente as grandezas mais importantes que influenciam o processo, e depois o aperfeiçoando pela eliminação de algumas hipóteses simplificadoras que possam contrariar com a realidade.

³⁴ Quanto maior for a dispersão dos pontos, menor será a correlação entre o que prevê o modelo e o que ocorre na realidade.



Os resultados entre os valores calculados e medidos podem ser interpretados desenhando um gráfico de comparação entre ambas as séries de valores. A Figura 6-25 (a) mostra um modelo que prevê perfeitamente o observado na prática. A Figura 6-25 (b) mostra um modelo onde não há correlação entre os resultados previstos e os medidos resultando num modelo sem utilidade como instrumento de previsão.

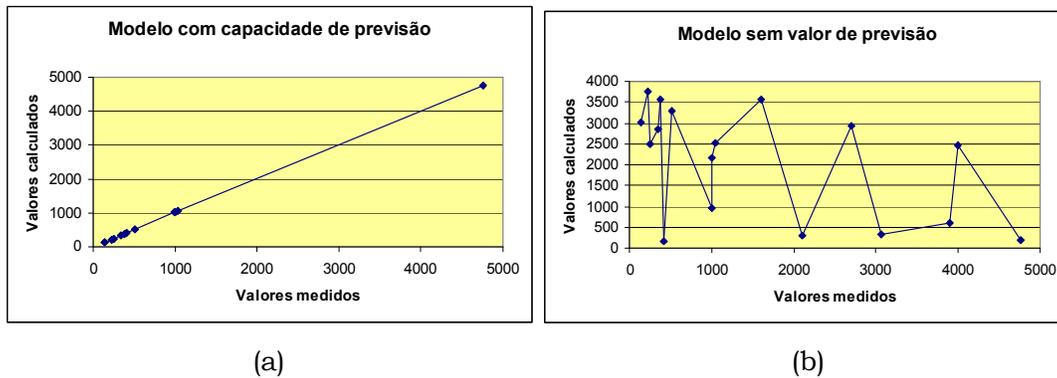


Figura 6-25 - (a) mostra uma perfeita correlação entre as previsões do modelo e as observadas na experiência. (b) mostra um modelo que não possui capacidade de previsão.

A análise e avaliação do modelo devem resultar na decisão de se o modelo é ou não satisfatório. A aceitação do modelo dependerá das condições nas quais ele será aplicado. Os modelos podem ser aperfeiçoados quando for necessário melhorar algum critério tal como: precisão, segurança ou valor econômico. No caso em que o modelo não satisfizer os critérios adotados, deve se retornar ao Passo 1 e tentar melhorar o modelo até que os critérios forem alcançados ou se tenha esgotado o tempo.

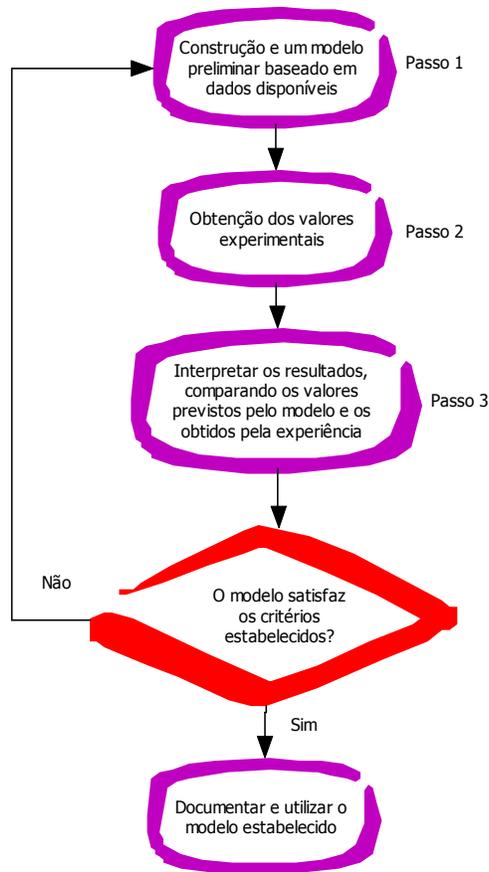


Figura 6-26 – Fluxograma da criação e validação dos modelos de previsão.

Em geral os pontos não ficam exatamente formando uma linha reta. Isto é porque sempre haverá omissões, imperfeições e incertezas tanto nos modelos construídos quanto nas medições feitas nas experiências práticas.

A interpretação das diferenças entre os valores previstos pelo modelo e as mostradas pelas experiências práticas requer de uma análise muito cuidadosa e objetiva que nem sempre é feita dessa forma. Deve sempre se ter presente que modelos sem erros são impossíveis e a tentativa de consegui-los seria na maioria das vezes inviável economicamente.

Na avaliação da utilidade de um determinado modelo o importante é saber se ele é aproximado o suficiente para poder ser usado sem incorrer em grandes erros. Krick ^[11] determina como sendo o custo do modelo, o principal critério para aferir a sua utilidade, havendo um determinado nível de incertezas que não valerá a pena ultrapassar.

6.6. A Simulação dos Sistemas Reais de Engenharia

A **simulação** é uma técnica de efetuar experiências com uma representação da realidade. Esta técnica permite comparar diferentes soluções sem ter que arcar

com os custos, riscos e demoras de efetuar ensaios dos ensaios com os sistemas reais nas condições reais. Podemos classificar as simulações nos seguintes tipos:

- simulação com modelos em escala;
- simulação analógica;
- simulação computacional;
- simulações para treinamento e aprendizagem.

6.6.1. A Simulação com Modelos em Escala

Imagine que se no projeto de uma ponte o engenheiro tenha que construir um protótipo em verdadeira grandeza, somente para fazer os testes de resistência e efetuar nele, as posteriores alterações de projeto que forem necessárias. Sem o recurso da simulação imagine como seriam grandes as perdas aeronaves e pilotos de provas nas fábricas de aviões. A Figura 6-27 mostra a preparação da simulação do modelo de um avião num túnel de vento.



Figura 6-27 - Preparação para simulação de um modelo em escala do Airbus A380 (cortesia de German-Dutch Wind Tunnels DNW)

O uso da simulação é essencial nos sistemas onde pelo seu tamanho (muito grande ou muito pequeno) exigem de grandes investimentos ou envolvem grandes riscos. Por exemplo, as representações iconográficas podem ser muito úteis na previsão do comportamento de sistemas reais tais como aviões, barcos, automóveis e grandes estruturas cujos modelos são constantemente simulados usando túneis de vento para levantar o comportamento dinâmico e verificar que a estrutura mecânica poderá resistir às forças em condições críticas. Nos dias atuais, as representações iconográficas estão sendo substituídas pelas simulações numéricas computacionais, no entanto estas devem ser aferidas usando sistemas reais ou pelo uso de modelos iconográficos.

A Figura 6-28 mostra a simulação do escoamento de ar próximo a duas torres de resfriamento.



Figura 6-28 – Simulação do escoamento de ar em um modelo em escala de torres de resfriamento (cortesia de Pininfarina ARC³⁵)

A Figura 6-29 mostra um canal usado para simulações de sistemas que atuam em sistemas hidráulicos tais como instrumentos de medição, hélices e carenas.



Figura 6-29 – Canal de testes para ensaios físicos de hélices e carenas (cortesia do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS)

A Figura 6-30 mostra a simulação de um trem de alta velocidade num túnel de vento.



³⁵ www.pininfarina.it

Figura 6-30 – Simulação do Modelo em escala de um trem de alta velocidade (cortesia de Pininfarina ARC)

A Figura 6-31 mostra a simulação de uma ponte.



Figura 6-31 - Simulação do comportamento de uma ponte (cortesia de Pininfarina ARC)

A Figura 6-32 mostra a simulação para análise do desempenho de um gerador eólico.



Figura 6-32 - Modelo em escala para simulação de um gerador eólico (cortesia de Pininfarina ARC).

6.6.2. A Simulação Analógica

Simulações de sistemas reais podem ser feitas usando modelos análogos vistos em seções anteriores que pouco ou nada se parecem com os seus equivalentes reais. Imagine o caso da Figura 6-33 que mostra o diagrama de um sistema mecânico e o sistema elétrico equivalente, onde para verificar o comportamento do sistema mecânico constrói-se e testa-se um circuito elétrico. A resposta do circuito elétrico será análoga à resposta do sistema mecânico.

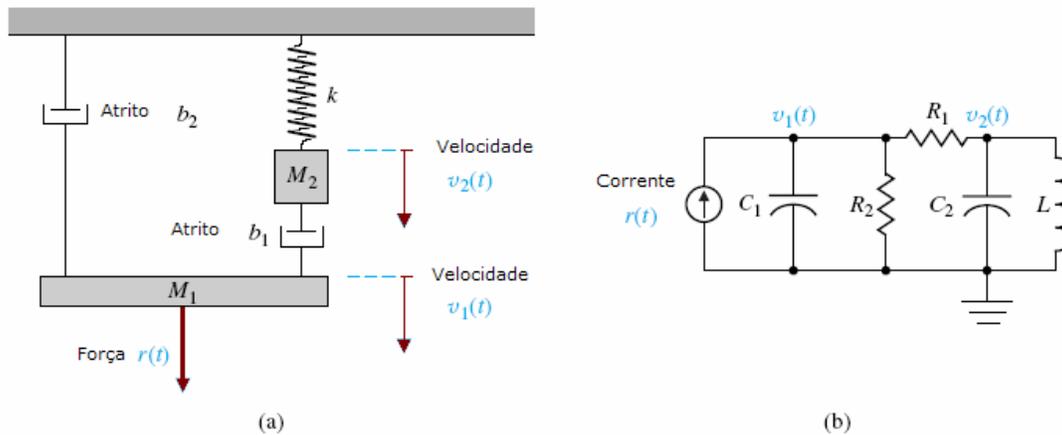


Figura 6-33 - Diagrama de um sistema mecânico e o seu análogo elétrico.

No circuito os sinais elétricos se comportam de forma análoga às velocidades de movimento do sistema mecânico que representa embora os fios e as correntes elétricas não apresentem semelhança física com as grandezas mecânicas.

A Figura 6-34 mostra um modelo do distribuidor de um sistema de lingotamento contínuo que no lugar de aço fundido usa água. O uso da água permite a adição de substâncias corantes e outras para representar o sistema real por analogias. Este tipo de simulação permite o estudo de novas configurações sem ter que arcar com os custos e riscos de trabalhar com materiais em altas temperaturas. Os corantes permitem visualizar o fluxo do fluido ou dos elementos de liga facilitando a observação da trajetória e dos pontos de escoamento turbulento.

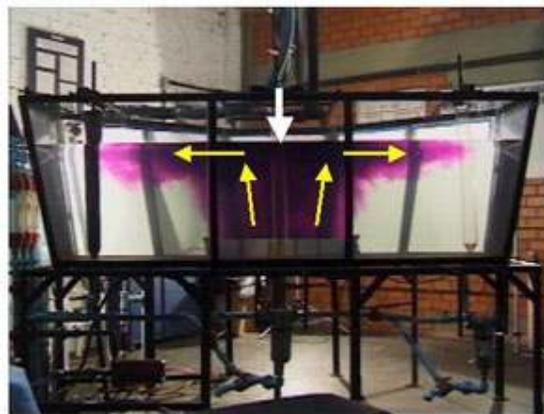


Figura 6-34 - Modelo físico de um distribuidor de lingotamento contínuo (cortesia do LASID - UFRGS).



6.6.3. A Simulação Computacional

A matemática é uma ferramenta que pode ser usada para simular o comportamento de sistemas reais. A Lei de Newton, por exemplo, estabelece um modelo que relaciona as grandezas força e a aceleração encima de uma massa:

$$F = m \cdot \ddot{x}$$

ou

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{m} \cdot F$$

Onde m é a massa, F a força aplicada, e $\frac{d^2x}{dt^2}$ é a aceleração do corpo.

Com esse modelo podemos simular as acelerações conferidas a uma caixa de sapato para vários valores de força e prever outras grandezas tais como deformação, velocidade e deslocamento. Fazem parte das ferramentas matemáticas as funções lógicas (AND, OR, NOT, XOR, etc.) e os algoritmos de toma de decisão.

As funções matemáticas podem ser aproximadas usando as técnicas de cálculo numérico. Através de iterações feitas por algoritmos computacionais podem se construir simuladores que representem a realidade com bastante exatidão.

A simulação computacional consiste essencialmente em uma série de cálculos numéricos e de decisões realizados segundo um conjunto de regras pré-estabelecidas. Essas características tornam o processo ideal para a utilização de computadores digitais, pois eles são extremamente rápidos para executar os mais variados tipos de algoritmos.

A simulação com auxílio de computadores é uma prática largamente difundida na prática da engenharia. Às vezes podem ser adicionados aos modelos computacionais, fatores aleatórios para tentar tornar mais realística a presença desse tipo de eventos nos sistemas reais. Quando isso acontece o processo toma o nome de simulação de Monte Carlo e tem sido aplicada para simulação de problemas militares, de transportes, de fornecimento de energia, de tráfego aéreo e terrestre e na manutenção de sistemas.

Além de possibilitarem a experimentação permitindo previsões mais exatas, as simulações analógicas e computacionais apresentam a vantagem de reduzir a escala de tempo, pois podem ser simulados eventos que demoram horas, dias ou semanas, em apenas alguns segundos. Por exemplo, pode se simular a viagem de uma nave espacial para fora do sistema solar, tal como a Pioneer X em alguns



segundos; no entanto uma viagem real desse tipo pode durar mais de trinta anos. De forma geral, a simulação computacional pode sintetizar experiências num intervalo de tempo extremamente curto o que nas condições reais podem levar anos a serem realizadas.

Existem simuladores computacionais para todo tipo de aplicações e com vários graus de exatidão. Muitos desses incluem interfaces gráficas tridimensionais que permitem simular grandezas mecânicas tais como forças, velocidades, deslocamentos, interação de massas e fluxo de calor. Os simuladores de circuitos eletroeletrônicos em geral possuem interfaces gráficas que podem simular níveis de tensão e corrente elétrica no tempo; potências e amplitudes para várias frequências; diagramas abstratos de pólos e zeros e muitas outras. Os simuladores de campos eletromagnéticos permitem simular distribuições tridimensionais de campos elétricos e magnéticos, forças mecânicas associadas e distribuição térmica. Os simuladores de sistemas químicos permitem observar reações, fluxos e outros efeitos termodinâmicos. A seguir mostraremos algumas aplicações de simuladores usados na engenharia.

Sinais elétricos no coração

A modelagem da atividade elétrica no tecido cardíaco é um passo importante no entendimento dos padrões de contração e dilatação do coração. O coração produz pulsos cardíacos rítmicos que disparam as contrações mecânicas do músculo. Vários tipos de anormalidades podem ocasionar o desvio desses sinais ocasionando que o padrão de pulsos seja alterado ocasionando o que se conhece como arritmias. A Figura 6-35 mostra a implementação de dois modelos que usam as equações de FitzHugh-Nagumo e de Ginzburg-Landau que são resolvidas na mesma geometria.

Padrões interessantes surgem desses dois tipos de modelos, por exemplo, ondas espirais que no contexto dos sinais elétricos cardíacos, podem produzir efeitos similares àqueles observados nas arritmias cardíacas.

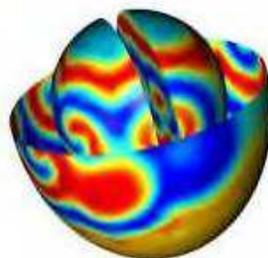


Figura 6-35 - Modelo computacional para simular os diferentes aspectos da propagação do sinal elétrico no tecido cardíaco (Software FEMLAB - Cortesia de Comsol Inc.³⁶).

Lingotamento Contínuo de Tarugos

A produção mundial de aço está baseada na produção de tarugos através de um processo denominado de lingotamento contínuo. Neste processo o metal líquido é vazado num molde onde é produzida a solidificação em movimento contínuo. A Figura 6-36 mostra um software de simulação que permite a previsão dos resultados através da seleção dos principais parâmetros que influenciam na solidificação neste processo.

Este software permite simular bateladas de produção para melhorar a produtividade pela modificação das variáveis tais como velocidade de produção, temperatura de vazamento, elementos de liga, condições de resfriamento, etc. A sua utilidade provém da capacidade de previsão fornecendo aos engenheiros da planta a possibilidade de aumentar a velocidade de produção, reduzir defeitos e diminuir os custos.



Figura 6-36 - Simulação de resfriamento de tarugos de aço no lingotamento contínuo (Software InALC+ - Cortesia LAFUN – UFRGS)

Forças Eletromagnéticas em Dois Fios Paralelos Conduzindo Corrente Elétrica

A unidade de medida de corrente elétrica, o Ampère, é definido como a sendo corrente constante circulante em dois condutores retos paralelos de comprimento infinito e desprezível seção circular, que afastados a distância de um metro produzem a força de 2×10^{-7} N por metro de comprimento.

³⁶ www.comsol.com. – Modelo fornecido gentilmente pelos professores Simonetta Filippi e Dr. Christian Cherubini da Università Campus Biomedico di Roma, Itália.

A Figura 6-37 mostra a simulação de dois fios paralelos de acordo com a definição, no entanto com a diferença de que os fios não possuem seção reta desprezível. A simulação mostra que a medida que se reduz o raio do fio as forças se aproximam do valor teórico.

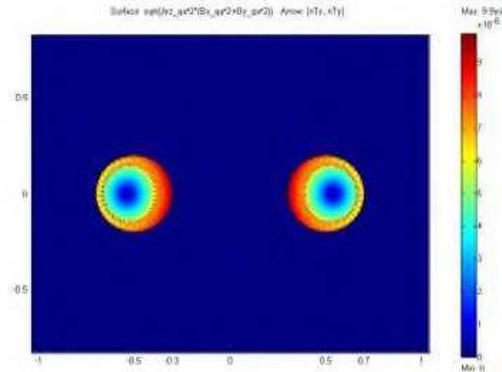


Figura 6-37 - Força eletromagnética em um para de fios carregando corrente elétrica (Software FEMLAB - Cortesia de Comsol Inc.).

Gerador em 3D

Nesta simulação um rotor com ímãs permanentes e com materiais magnéticos não lineares gira com relação ao estator feito com o mesmo material magnético. A tensão elétrica gerada pode ser simulada em função do tempo assim como a distribuição do fluxo magnético.

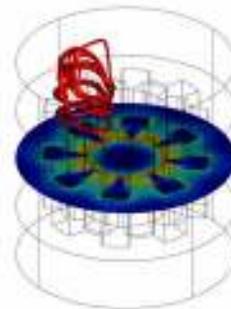


Figura 6-38 - Simulação dos campos magnéticos em função do tempo em um motor de corrente contínua (Software FEMLAB - Cortesia de Comsol Inc.).

Indutor Espiral Quadrado Usado em MEMS

Este tipo de indutor é usado como filtro passa-faixa em sistemas MEMS³⁷. O primeiro passo é simular as correntes e depois as linhas de fluxo magnético, mostrados na Figura 6-39.

³⁷ Micro-Electro-Mechanical System

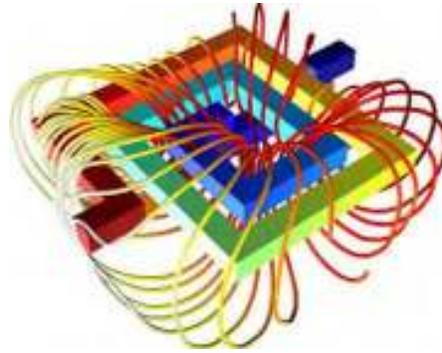


Figura 6-39 - Linhas de campo magnético em um indutor espiral de um microchip (Software FEMLAB - Cortesia de Comsol Inc.).

Eletrodos de um Marca-Passo

Esta simulação ilustra o uso de um simulador para prever o comportamento da distribuição de corrente iônica em eletrólitos, no caso o tecido humano. O problema é exemplificado no eletrodo de um marca-passo que consta de dois eletrodos, um catodo e um anodo. A Figura 6-40 mostra a distribuição do potencial elétrico ao redor do eletrodo.

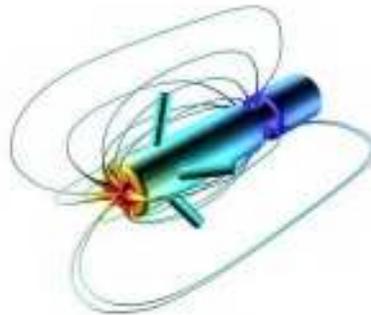


Figura 6-40 - Simulação de campos elétricos em um eletrodo de um marca-passo (Software FEMLAB - Cortesia de Comsol Inc.).

Eixo de um Rotor

Nesta simulação é analisado o comportamento do rotor de um motor elétrico. No projeto de um motor é importante evitar que a faixa de velocidade de operação fique muito perto das frequências de ressonância do rotor. A simulação mostrada na

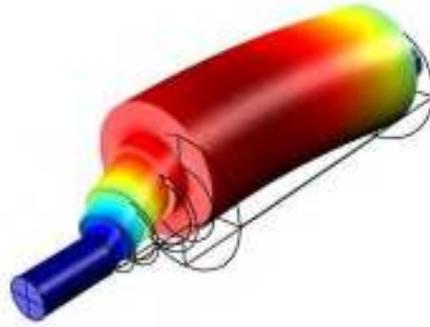


Figura 6-41 – Deslocamento do rotor na frequência de ressonância de 362.680 Hz (Software FEMLAB - Cortesia de Comsol Inc.).

Efeitos Térmicos em Condutores de Dispositivos Eletrônicos

O fenômeno simulado neste exemplo envolve o balanço térmico para o caso de corrente contínua nos condutores. As perdas ôhmicas devido à condutividade limitada do dispositivo geram calor, aumentando a temperatura do condutor e resultando por sua vez na alteração da condutividade elétrica do material.

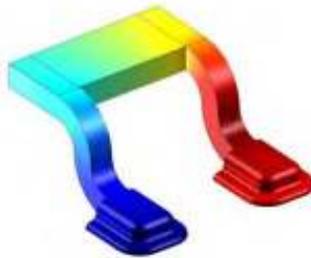


Figura 6-42 - Efeitos térmicos em condutores elétricos de um microchip (Software FEMLAB - Cortesia de Comsol Inc.).

Interação de Ondas Acústicas com Estruturas

O estudo da interação entre ondas acústicas de gases ou líquidos com objetos estruturais tais como membranas, placas ou sólidos permitem analisar importantes aplicações em muitas áreas da engenharia. Alguns exemplos de aplicação são: alto-falantes, sensores acústicos, testes não-destrutivos de impedâncias, diagnóstico médico por ultra-som do corpo humano, etc.

A simulação mostrada na Figura 6-43 mostra a previsão em 3D do fenômeno de interação de uma onda acústica num fluido com um objeto sólido. As paredes do objeto sólido são impactadas pela pressão acústica. A resposta em frequência do sólido pode ser calculada para analisar o padrão de vibrações mecânicas induzidas nesse objeto. Na figura pode se observar como a pressão das ondas acústicas transmitidas na água altera a estrutura de um cilindro de alumínio. As setas e as alterações geométricas indicam a deformação do cilindro.

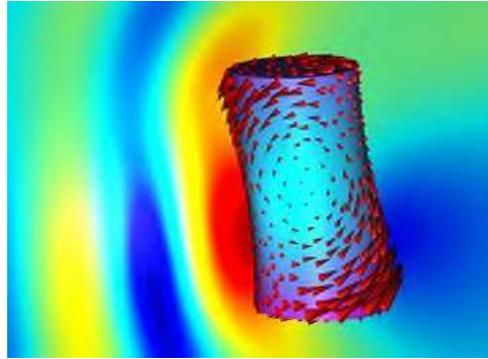


Figura 6-43 – Simulação da pressão de som (dB) transmitida pela água ao redor de um cilindro de alumínio (Software FEMLAB - Cortesia de Comsol Inc.).

Motores Elétricos Lineares do Tipo Bobina Móvel

Os motores elétricos lineares (MEL) são dispositivos eletromecânicos que produzem movimento em linhas retas sem o uso de mecanismos para converter movimentos rotacionais em movimentos lineares. As vantagens destes tipos de motores sobre os sistemas convencionais rotativos com conversão são: a ausência de engrenagens e transmissões, resultando em melhorias do desempenho dinâmico e de confiabilidade.

As características de aceleração desses motores é bastante elevada comparada com os acionamentos tradicionais que convertem rotação em movimento linear. A Figura 6-44 mostra a simulação para análise de funcionamento de um motor linear.



Figura 6-44 - Simulação dos campos magnéticos e forças em um motor linear (Software FEMLAB - Cortesia de Comsol Inc.).

Esforços em uma Polia

Os esforços em uma polia são mostrados nesta simulação. O estudo é feito pela simulação de uma polia conectada a um motor através de uma correia que lhe transmite força mecânica.

A simulação da Figura 6-45 permite estudar como a velocidade de rotação afeta a distribuição dos esforços na polia. A energia do eixo da polia permanece constante, o momento (definido como sendo a relação entre a energia e a velocidade rotacional), portanto diminui com o aumento da velocidade de rotação. Isto significa que aumentando a velocidade de rotação, aumenta a carga inercial e ao mesmo tempo diminui a força transmitida pela correia.

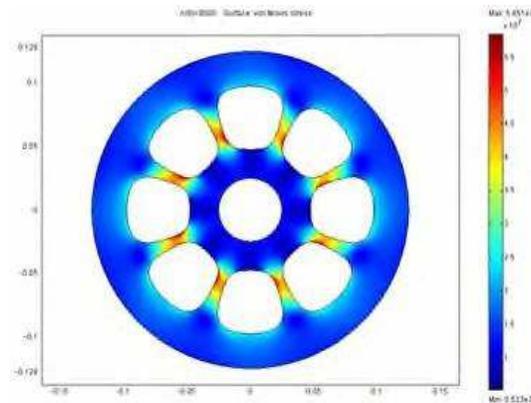


Figura 6-45 – Distribuição de esforços para 9000 RPM (Software FEMLAB - Cortesia de Comsol Inc.).

6.6.4. As Simulações para Treinamento e Aprendizagem

Como visto, os modelos servem como ferramentas de representação da realidade. Assim podem ser elaborados modelos eletromecânicos e eletrohidráulicos que respondam com movimentos mecânicos, fluxos térmicos e níveis de iluminação. Você deve conhecer os simuladores de voo para aviões que são bastante populares como videogames e as máquinas que simulam o voo de um avião, comuns nos parques de diversões e shoppings. Existem os simuladores totalmente virtuais e os mistos que apresentam movimentos além de imagens.



Figura 6-46 - Simulador para treinamento de pilotos de aviação (Cortesia de Advanced Simulation Systems, Inc.)³⁸.

Esses tipos de simuladores são usados para treinamento de pilotos de todos os tipos de máquinas, tais como aviões, barcos, submarinos, automóveis, helicópteros, grandes guindastes e outras máquinas, onde a inexperiência do operador pode representar em grandes riscos na manipulação da máquina real. Os

³⁸ www.advancedsimulation.com



dispositivos de simulação que reproduzem os movimentos do que seria um sistema real sem colocar em risco a integridade das pessoas e o patrimônio, normalmente são chamados de **emuladores**.



Figura 6-47 - Visão interna de um simulador para treinamento de voo (Cortesia de Advanced Simulation Systems, Inc.).



Figura 6-48 - Simulador para treinamento de pilotos de aviação.

A pesar deste tipo de simulador não servir como ferramenta para a prática da engenharia, eles são construídos por engenheiros e tem um papel importante para a sociedade e os sistemas de produção e de transporte.



Figura 6-49 – Simuladores para treinamento de pilotos de grandes barcos (Cortesia de Real Sims Inc.)³⁹

³⁹ www.realsims.com