

CONSULTA
FD-3031

São Paulo
2002

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Mestre em Engenharia

UMA METODOLOGIA PARA A ESPECIFICAÇÃO E SELEÇÃO
DE MÁQUINAS PARA PROCESSOS DE MANUFATURA,
ATRAVÉS DA ANÁLISE DO CUSTO TOTAL DO PROCESSO

RICARDO CARDIA CARDOSO

RICARDO CARDIA CARDOSO

**UMA METODOLOGIA PARA A ESPECIFICAÇÃO E SELEÇÃO
DE MÁQUINAS PARA PROCESSOS DE MANUFATURA,
ATRAVÉS DA ANÁLISE DO CUSTO TOTAL DO PROCESSO**

**Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Mestre em Engenharia**

**Área de Concentração:
Engenharia Mecânica**

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Kaminski

São Paulo

2002

Dedico este trabalho à minha esposa Adriana, que com muito amor me suportou nas horas mais difíceis deste desenvolvimento, e a meus queridos filhos Ricardo e Carolina, que com sua alegria me trouxeram inspiração e conforto.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais ao meu orientador Prof. Paulo Kaminski, que com brilhantismo conseguiu me conduzir à conclusão do trabalho, se dispondo a me ajudar mesmo com o prazo apertadíssimo, e com as grandes dificuldades do projeto. Encontrando tempo em seus finais de semana para as revisões do trabalho. Também agradeço e a meu ex-orientador Prof. Marcos Barreto, que muito me auxiliou na bibliografia e no desenvolvimento da proposta da dissertação. Agradeço ainda meus colegas de trabalho José Brandão, Fernando Pinto, Rogério Nakamura, Paulo Façanha, Luiz Henrique, Milton Tashima, André Bertho, Maurício Araújo, Vicente Rodrigues, e todos outros colegas que compreenderam minha ausência em alguns momentos, e ainda me incentivaram e disponibilizaram material de estudo para o enriquecimento do conteúdo, além do grande suporte técnico e apoio psicológico. Agradeço ainda aos meus irmãos Fernando e Virgínia, e a meus pais, que me incentivaram, me ajudaram nas revisões, me forneceram materiais de estudo e ainda me ajudaram na solução dos problemas do computador, entre outros. Agradeço a minha querida esposa Adriana e a meus filhos Ricardo e Carolina, que tiveram muita paciência durante todos estes anos para suportar minha ausência, e ainda me trouxeram todo o incentivo que me levou à conclusão do trabalho. Para tentar não ser injusto, deixo ainda meu agradecimento a todos os amigos, que mesmo não citados aqui nominalmente, me auxiliaram das mais diferentes formas possíveis.

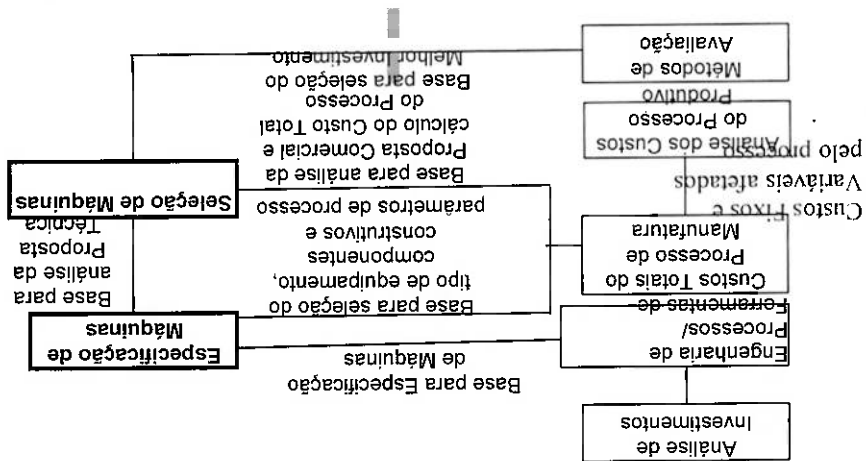


Fig. 6.2. - Processo de Especificação e Seleção de Máquinas

Leia-se a figura:

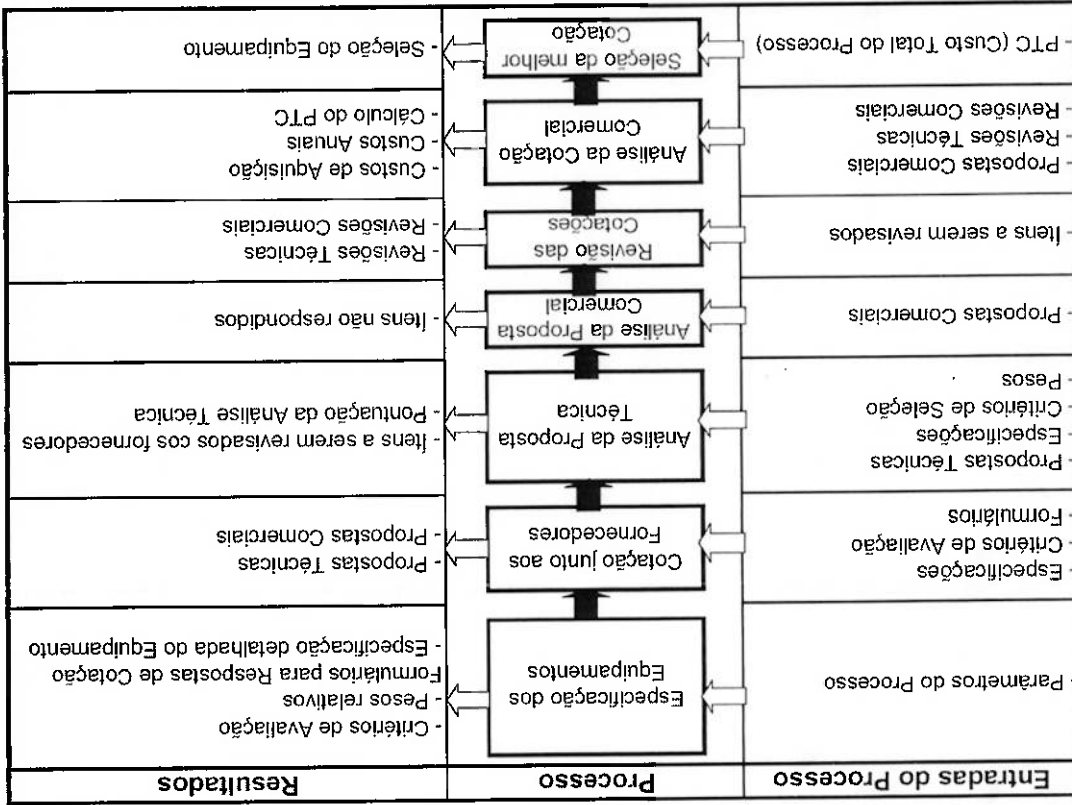


Fig. 6.2. - Processo de Especificação e Seleção de Máquinas

"Na pág. 109, onde se lê:

"A tab. 7.1. lista os grupos de critérios de seleção, e suas inter-relações:

Na tab. 7.2., esses grupos são detalhados em itens menores, porém mantendo o mesmo peso relativo em relação aos itens de outros grupos."

Leia-se:

"Aqueles critérios de seleção (descritos na tab. 7.2.) que apresentam mesma importância e tipo foram agrupadas em famílias (listadas na tab. 7.1.) de forma a tornar possível as ponderações de importância entre eles. Comparar oito famílias apenas, ao invés de inúmeros critérios, torna o processo de classificação possível e confiável. A tab. 7.2. lista os critérios nas famílias, e os pesos relativos entre eles."

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABELAS	4
LISTA DE NOMENCLATURAS	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO	8
1.1. Motivação	8
1.2. Objetivo do Trabalho	9
1.3. Escopo do Trabalho	9
CAPÍTULO 2. METODOLOGIA DE PROJETO E ANÁLISE DE INVESTIMENTOS	11
2.1. Fases de Projeto	12
2.2. Modelos de Metodologia de Projeto	15
2.3. Análise de Investimentos – Estudo Direcional	21
2.3.1. Tipos de Investimento e suas Fontes de Variação	21
2.3.2. Análise de Viabilidade Econômica e Financeira de Investimentos	22
2.3.3. Análises Analíticas e Estratégicas	26
CAPÍTULO 3. CUSTO TOTAL DO PROCESSO DE MANUFATURA	29
3.1. Custos do Processo Produtivo	29
3.1.1. Custos Fixos	30
3.1.2. Custos Variáveis	34
3.2. PTC - Custo Total do Processo de uma Operação Produtiva	37
3.2.1. Custo Total do Processo (PTC)	38
3.2.2. Retorno Sobre Investimento (IRR)	42
CAPÍTULO 4. MANUFATURA ENXUTA	43
4.1. Produção em Massa versus Produção Enxuta	46
4.1.1. Manufatura Enxuta	51
4.1.2. Ferramentas de Projeto de um Processo Enxuto	51
4.1.3. Teoria Seis-Sigma	58
4.2. Engenharia de Processos de Manufatura	63
4.2.1. Abrangência	63
4.2.2. Projeto de um Processo Produtivo	66

CAPÍTULO 5. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	74
5.1. Tipos de Métodos de Avaliação	74
5.1.1. Comparação baseada em Critérios Absolutos.....	74
5.1.2. Método de Seleção de Conceito de Pugh	75
5.1.3. Matriz de Decisão Ponderada	77
5.1.4. Processo de Hierarquia Analítica (AHP - <i>Analytic Hierarchy Process</i>).....	79
5.2. Método Proposto.....	81
CAPÍTULO 6. METODOLOGIA PROPOSTA: PROCESSO DE ESPECIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE MÁQUINAS	82
6.1. Processo de Especificação de Máquinas	85
6.1.1. Estrutura de uma Especificação de Máquina.....	85
6.1.2. Especificação de Máquina	94
6.2. Seleção de Máquinas.....	98
6.2.1. Análise da Proposta Comercial.....	98
6.2.2. Análise da Proposta Técnica	100
6.2.3. Decisão do melhor negócio	101
CAPÍTULO 7. ESTUDO DE CASO	102
7.1. Especificação da Máquina.....	102
7.2. Análise da Cotação Técnica	109
7.3. Análise da Cotação Comercial.....	115
7.3.1. Custo de Aquisição.....	115
7.3.2. Custo Anual de Produção.....	121
7.4. Cálculo do PTC e da Capacidade.....	126
7.4.1. Custo Total do Processo (PTC).....	126
7.4.2. Cálculo da Capacidade Líquida de Produção	129
7.5. Conclusão: Análise do melhor negócio	130
7.5.2. Análise da Cotação Comercial.....	133
7.5.3. Análise do Custo Total do Processo e Capacidade Líquida	135
CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
APÊNDICES	142
APÊNDICE I. Análise de Confiabilidade de Centro Flexível de Usinagem:.....	142
APÊNDICE II. Fórmulas usadas no Estudo de Caso:.....	153

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1. a) – Metodologia de Projeto proposta: Estudo Direcional.....	16
Fig. 2.1. b) – Metodologia de Projeto proposta: Estudo Preliminar	17
Fig. 2.1. c) – Metodologia de Projeto proposta: Estudo Detalhado	17
Fig. 2.1. d) – Metodologia de Projeto proposta: fases finais.....	18
Fig. 4.1. - Aplicação dos diferentes Sistemas Produtivos.....	44
Fig. 4.2. – Distribuição normal de um processo 6-Sigma	60
Fig. 4.3. - Fluxo de Projeto de um Processo Produtivo.....	68
Fig. 6.1. - Processo de compra de equipamento.....	82
Fig. 6.2. - Processo de Especificação e Seleção de Máquinas	84
Fig. 1.1. – Fluxo de informações entre os sub-sistemas da máquina.....	143
Fig. 1.2. – Modelamento do Sistema para cálculo de Confiabilidade.....	143
Fig. 1.3. – Entradas e Saídas do Sistema	144
Fig. 1.4. – Árvore de Falhas do Sistema	145

LISTA DE TABELAS

Tab. 2.1. – Responsáveis e Resultados Esperados para cada fase de Projeto: ...	20
Tab. 4.1. - Problemas/ 100 Veículos - Carros e Caminhões - 1997	48
Tab. 4.2. - Impacto de Problemas - 1998 - dados obtidos diretamente dos consumidores	48
Tab. 4.3. - Horas/ Veículo (Carros/ Caminhões) - 1997	49
Tab. 4.4. - Tempo de Setup de Estamparia - 1998	50
Tab. 4.5. – Visão Clássica de Performance	59
Tab. 4.6. – Níveis Sigma e seus Índices de Rejeitos	61
Tab. 5.1. - Matriz de comparação entre Critérios de Seleção [Dieter 00]	77
Tab. 5.2. - Tabela de Avaliação de Opções de Projeto	78
Tab. 5.3. - Escala Fundamental de Saaty para comparações em pares	79
Tab. 5.4. - Matriz quadrada para determinação dos pesos dos critérios	80
Tab. 5.5. - Matriz quadrada normalizada	80
Tab. 7.1. – Pesos relativos entre os Critérios de Avaliação	110
Tab. 7.2. –Análise da Cotação Técnica	111
Tab. 7.3. – Parâmetros do Cliente	115
Tab. 7.4. – Custo de Aquisição e Custos Associados - Fornecedor 1:	116
Tab. 7.5. – Custo de Aquisição e Custos Associados - Fornecedor 2:	119
Tab. 7.6. – Custos Anuais do Processo – Fornecedor 1:	122
Tab. 7.7. – Custos Anuais do Processo – Fornecedor 2:	124
Tab. 7.8. – Custo Total do Processo (PTC) – Fornecedor 1:	127
Tab. 7.9. – Custo Total do Processo (PTC) – Fornecedor 2:	128
Tab. 7.10. – Capacidade de Produção	129
Tab. 7.11. – Notas de Avaliação dos equipamentos	130

LISTA DE NOMENCLATURAS

- JIT – (*Just-in-Time*) Sistema de Logística com entrega na hora do uso
- TPM – (*Total Productive Maintenance*) Manutenção Total da Produção
- R&M – (*Reliability and Maintainability*) Confiabilidade e Manutenibilidade
- Benchmarking* – Pesquisar como é o processo do líder daquele segmento
- Project Assumption* – Escopo do projeto
- Layout* - Arranjo Físico da Planta
- PTC – (*Process Total Cost*) Custo Total do Processo
- LCC – (*Life Cycle Cost*) Custo de Ciclo de Vida
- FMEA – (*Failure Mode and Effect Analysis*) Análise de Modos de Falha e Efeitos
- Material Handling* – Movimentação de Materiais
- IRR (*Internal Return Rate*) Taxa de Retorno Interna (Intínseca)
- ABC (*Activity Based Costing*) Custeio Baseado em Atividades
- VA – Valor Atual ou Valor Presente
- EUA – Equivalente Uniforme Anual
- TC – (*Total Cost*) Custo Total
- EPI – Equipamento de proteção Individual
- Work Standard* – Padrão de Trabalho
- Milk-Run* – Sistema de Logística de recolhimento de peças nos fornecedores
- Pay-per-Production* – Pagar por produto produzido
- Try-out – Teste de Funcionamento e Aprovação de Máquinas
- MTBF – (*Mean Time Between Failures*) – Tempo Médio Entre Falhas
- MTRR – (*Mean Time To Repair*) Tempo Médio Para Reparo
- FIFO (*First In – First out*) Primeiro a entrar é o primeiro a sair
- LIE – Limite Inferior de Engenharia
- LSE – Limite Superior de Engenharia

RESUMO

Com a crescente competitividade do mundo atual, a luta por sua parcela no mercado se tornou primordial para a sobrevivência das empresas. Com os lucros operacionais cada vez menores e o aumento de expectativa dos clientes quanto à qualidade e variedade dos produtos, tornou-se indispensável a redução de custos dos produtos através da redução drástica dos custos de produção e do valor dos investimentos. O intuito é garantir uma lucratividade mínima que atraia o investimento de capital pelos acionistas, e impeça que estes venham a transferir seus investimentos para outras empresas ou outros mercados. Esta Dissertação de Mestrado vem ao encontro destes propósitos, buscando trazer ferramentas de aplicação prática ao Engenheiro de Processos da empresa, que é um dos maiores responsáveis pelos custos da produção e do produto final. O Engenheiro de Processos é quem faz a definição dos processos de fabricação, especificação dos meios de produção, e organiza a colocação em produção desses meios produtivos (máquinas, equipamentos, pessoal, etc.).

O objetivo desse estudo é tornar claro o que é importante na especificação de um equipamento, e como deve ser selecionado, dentre os ofertados pelo mercado, aquele equipamento que mais se adequa ao seu processo produtivo, e que irá proporcionar o menor custo por peça produzida.

Após colocada a teoria e a metodologia proposta, será apresentado um estudo de caso real exemplificando a aplicação dessa metodologia.

ABSTRACT

In the current high competitive world, the fight for a place in the market share became essential for the companies survive. With operational profits becoming smaller and the growing consumer's expectative regarding products quality and variety, it's indispensable the product total cost control, through a dramatic reduction on Production Costs and on Investment amounts. The goal is to guarantee a minimal profitability to attract the shareholders capital investment, and avoid the transference of their investments to other markets. This paper work comes into this purpose, providing practical application tooling to the Process Engineer, who is one of the main responsible by the production and final products costs. The Process Engineer is who defines the manufacturing processes, the production resources specification, and organizes the production start of these resources (machines, equipment, human force, etc.). The objective of this study is to make clear what is important in an equipment specification, and how should be selected the most adequated equipment to the productive process, among that offered by the market, and that will allow the lower single produced part cost.

After theory and proposed methodology placing, it will be presented a real case study to exemplify the methodology application.

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Com o avanço da globalização no processo de industrialização mundial nota-se a grande preocupação das empresas em reduzir os custos de investimento e de produção de seus produtos. Isso explica-se pelo fato de que atualmente os preços dos produtos são ditados pelo mercado (em sua maioria), e não mais pelo produtor. Uma das formas de se poder fazer crescer os lucros (diferença entre o preço do produto e seus custos) é a redução do custo total do produto, formado pelos custos de amortização do investimento e pelos custos de produção deste produto.

Apesar desta preocupação, são poucas as empresas que buscam otimizar seus investimentos com foco no custo total da produção, durante toda a vida útil do produto (período compreendido entre a decisão de se fazer o investimento até a última unidade produzida daquele produto) - o chamado Custo de Ciclo de Vida do Produto.

Esse estudo tem, portanto, o objetivo de facilitar o trabalho de otimização dos investimentos, criando critérios para a especificação e a seleção de equipamentos para operações de manufatura, a fim de reduzir o custo total do processo produtivo e, conseqüentemente, do produto final.

Para um melhor entendimento, o trabalho se dividirá em quatro partes principais: *a)* Metodologia de Projeto e Análise de Investimentos, que define como se divide um Projeto de Engenharia de Processos, e como é feita a análise de qual o melhor investimento a ser implementado, *b)* Custo Total de Manufatura, que detalha todos os custos provenientes de uma operação produtiva, desde o investimento inicial até o

custo de manufatura da última peça produzida, *c) Processo Enxuto*, que expõe as modernas teorias de Manufatura e detalha as ferramentas a serem aplicadas ainda na fase de projeto para otimização dos processos; *d) Métodos de Avaliação*, que explica os principais métodos para decidir tecnicamente qual a melhor opção de equipamento a ser adquirido, dentre os oferecidos pelo mercado.

1.2. Objetivo do Trabalho

O objetivo deste trabalho é definir quais requerimentos devem estar presentes na especificação de um equipamento produtivo, e como fazer a sua seleção dentre as várias opções apresentadas, de forma a otimizar os custos de aquisição e de produção. A metodologia proposta visa a otimização dos recursos, ou seja, utiliza como parâmetro de comparação o Custo Total do projeto e de produção, durante todo o ciclo de vida do produto.

1.3. Escopo do Trabalho

Este estudo tem como escopo de trabalho os processos de manufatura (processos de usinagem e montagem de componentes mecânicos), considerando produção em larga escala - alto volume de produção e baixo número de famílias de peças, típico da indústria de bens de consumo (automotiva, eletrodomésticos, etc.).

Assuntos abordados: no intuito de buscar um modelamento mais próximo possível da realidade, tentou-se considerar todos os aspectos que a prática demonstra terem influência sobre a escolha de um ou outro processo de manufatura. Dentre estes destacam-se:

- metodologia de projeto de engenharia
- comparação com outros tipos de investimento
- novas tecnologias
- tecnologia de grupo
- sistemas de logística/ produção - *kanban, just-in-Time (JIT), kaisen*, etc.
- sistemas de manutenção – Manutenção Total da Produção (TPM - *Total Productive Maintenance*), Confiabilidade e Manutenibilidade (R&M – *Reliability & Maintainability*)
- depreciação: máquina usada reformada x máquina nova
- benchmarking de processos
- volume de produção
- níveis de estoque/ inventário
- padrão de horas de trabalho
- características do produto/ possibilidade de mudanças ao longo do tempo
- taxa de juros
- condições de caixa da empresa
- padrões/ normas internas da empresa (segurança, construívas, manutenção, estoque de peças de reposição)
- legislação local - trabalhista, ambiental, econômica
- mix de produtos/ flexibilidade da linha
- nível de automação/ gerenciamento da produção
- balança comercial
- gerenciamento visual (facilitação da operação através de códigos de cores, etc)
- procedimentos/ documentação de produção
- taxa/ tempo de retorno, tempo de implementação, investimento disponível

CAPÍTULO 2. METODOLOGIA DE PROJETO E ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

A Metodologia de Projeto aplicada a este estudo é o conjunto de métodos utilizados no gerenciamento de novos projetos de manufatura, que aqui se caracterizam pela descrição das principais fases pelas quais um projeto deve passar, o que compõe cada uma dessas fases e quem são os responsáveis por elas. A Metodologia de Projeto a ser aplicada à Engenharia de Processos de Manufatura visa garantir o cumprimento das metas de custo, tempo e qualidade no desenvolvimento de um novo projeto de engenharia.

Nesse primeiro capítulo, iniciamos com uma breve descrição das fases que compõem um projeto de manufatura, propostas por [Pressman 95] e [Hirama 96]. A proposta de [Kidd 95] e dos outros dois autores é de que sejam formados times multifuncionais, compostos de representantes de todas as áreas envolvidas no projeto, tais como Engenharia de Produto, Engenharia de Processos de Manufatura, Logística, Compras, Finanças, Produção, Marketing & Vendas, e principalmente representantes do cliente. O desenvolvimento do projeto através desses times proporcionaria uma redução no tempo do projeto, redução nos erros devido a uma melhor comunicação entre as áreas, e racionalização de recursos humanos, além de um maior envolvimento de cada membro do time. As fases de projeto não devem ser linearmente sequenciais, e deve sim existir uma “sobreposição” entre elas, de modo a garantir a revisão dos processos definidos previamente, visando a otimização dos mesmos e a redução de erros de projeto.

2.1. Fases de Projeto

Um projeto de Engenharia, segundo [Pressman 95] e [Hirama 96], se divide em fases de **Planejamento e Análise**, onde são traçadas as estratégias do projeto, é definido o escopo do mesmo e são realizados os estudos de viabilidade, que correspondem ao trabalho de **Estudo Direcional**. A seguir, vem a fase de **Engenharia do Processo**, onde em um primeiro passo se define com detalhes o processo a ser implementado, o arranjo físico da linha e os parâmetros do processo, são realizadas as simulações necessárias, e define-se a especificação dos equipamentos. No passo seguinte, são realizadas as cotações dos equipamentos junto aos fornecedores, é feita a análise das ofertas fornecidas, revisa-se as ofertas junto aos fornecedores, e finalmente é feita a escolha do melhor equipamento. Aqui, esses dois passos correspondem às fases de **Estudo Preliminar e Estudo Detalhado**. Em seguida temos a **Implementação do Processo**, onde o novo processo produtivo é instalado, que chamaremos apenas de **Implementação**. Segue-se a **Implantação da Produção**, ou seja, iniciam-se os trabalhos de pré-produção, a fim de checar se os processos produtivos estão de acordo com o planejado. Essa fase identificamos como **Validação da Produção**. Finalizando, vem a fase de **Manutenção**, aqui também chamada de **Manutenção**, referente às modificações necessárias durante o transcorrer da produção propriamente dita, após o fim do lançamento do projeto.

A descrição detalhada de cada uma das fases de projeto vem a seguir:

a) Estudo Direcional:

Geralmente quando surge uma ideia, faz-se necessário um estudo de viabilidade financeira dessa ideia, que decidirá se esta será levada em frente ou descartada. A este estudo inicial damos o nome de **Estudo Direcional**. Neste estudo são testadas as várias alternativas de investimento. O principal objetivo desta fase é a consolidação da ideia do projeto, resultando na formação do Escopo ou Premissas do Projeto (*Project Assumption*), e verificar através da Análise de Investimentos qual a melhor opção de investimento a ser realizada. Essa fase é de responsabilidade das áreas de

Marketing e Engenharia de Produto, na definição do produto a ser manufaturado, e de Engenharia de Manufatura, na definição dos meios produtivos.

b) Estudo Preliminar:

Uma vez definido o escopo do projeto, ou seja, quais as características do produto e qual o processo produtivo a ser utilizado, é necessário um detalhamento dos investimentos e apuração preliminar dos custos de produção e do produto. Nessa fase é realizada a definição do processo produtivo a ser empregado, são definidos o arranjo físico (layout) e os parâmetros do processo, são realizadas as simulações necessárias para se confirmar os parâmetros do processo, e define-se com detalhes a especificação técnica de todos os equipamentos a serem utilizados nesse novo processo produtivo. De posse destes valores, pode-se confirmar a viabilidade econômica e financeira do projeto, através da análise do fluxo de caixa e da taxa de retorno intrínseca do investimento. Pode-se, após essa fase, por fim aprovar a realização do projeto. Essa fase gera também custos fixos de Engenharia, e é de responsabilidade da Engenharia de Manufatura.

c) Estudo Detalhado:

Com o projeto aprovado, e consequentemente seu orçamento, segue-se a fase de realização do investimento no novo processo de manufatura. Nesta fase, serão realizadas as cotações dos equipamentos junto aos fornecedores, serão analisadas as propostas técnicas e comerciais de cada um deles, serão realizadas as revisões das cotações, e por fim será feita a seleção dos equipamentos que mais se adequarem ao novo processo, técnica e financeiramente falando. Mais uma vez, essa fase também gera custos fixos de Engenharia, e ainda é de responsabilidade da Engenharia de Manufatura, porém agora com grande participação da Engenharia de Produção, que colaborará com sua experiência nos processos produtivos existentes, buscando reduzir erros no novo projeto.

d) Implementação:

Nesta fase executa-se a compra, construção e instalação dos equipamentos necessários ao novo processo produtivo. Fábrica e Engenharia trabalham juntos nessa

fase. Iniciam-se aqui os gastos com a aquisição dos novos equipamentos e serviços, que irão formar a parte dos custos fixos do produto relativa à amortização do investimento.

e) Validação da Produção:

Após a instalação dos equipamentos, é necessária a validação do novo processo, que consiste no teste de capacidade produtiva e qualidade dos equipamentos. Surgem aqui os primeiros gastos relativos à produção propriamente dita, referentes a peças, ferramentas e manutenção de equipamentos. Esses gastos se apresentam na forma de despesa fixa de implementação de projeto, também chamada de Despesas de Lançamento. Engenharia de Manufatura, Produção e Qualidade trabalham juntas aqui.

f) Manutenção

Com a aprovação dos equipamentos em produção, inicia-se a fabricação daquele produto. Essa é a chamada fase de Manutenção da Produção, onde pequenas correções podem ser necessárias, assim como algumas adaptações ou evoluções (melhorias no processo). Trataremos essas adaptações como novos projetos de engenharia, desprezando aqui novos investimentos, por serem relativos a mudanças no escopo do projeto original, e iremos nos preocupar apenas com os custos de produção resultante do processo produtivo implantado pelo projeto. Na produção normal, os recursos serão consumidos a fim de manter a produção a pleno vapor. Isso gera uma conta de despesas variáveis, devido aos gastos de materiais e mão de obra durante a produção, e outra de despesas fixas, devido aos custos de manutenção de equipamentos, mão-de-obra indireta, etc. Esta fase não é mais de responsabilidade da Engenharia de Manufatura, e sim da Engenharia de Produção, porém é o Engenheiro de Manufatura o responsável pelo desempenho projetado da produção. Esta é a fase mais desprezada durante os estudos iniciais, porém geralmente é a responsável pela parcela mais significativa no cálculo do Custo Total do Processo (PTC). As despesas geradas nesta fase não são contabilizadas como despesas de projeto, pois não podem ser depreciadas junto ao investimento inicial, e sim entram diretamente no custo do produto, por fazerem parte do esforço produtivo na obtenção dos mesmos.

2.2. Modelos de Metodologia de Projeto

A condução do projeto pode ocorrer de diferentes formas, seguindo diferentes modelos de Metodologia. Neste momento, vamos descrever e definir as características desses modelos, segundo [Hirama 96]:

■ **Modelo Classico ou Cascata** - Onde as fases do projeto são sequenciais, sem sobreposição entre elas. Compõe-se das fases de Engenharia (definição dos requisitos do sistema: equipamentos, pessoas, etc.), Análise (compreensão do problema e consolidação dos requisitos com o cliente), Projeto (estruturação da solução, como definição do processo produtivo e características do processo), Implementação (implementação do projeto), Testes (testes de funcionamento sistemático do sistema para avaliar o funcionamento do mesmo) e Manutenção (alterações no processo durante sua vida útil, a fim de correção de erros, adaptações e evoluções). Nesse modelo, o cliente é contatado apenas em fases avançadas no cronograma, o que dificulta declarar todas suas exigências explicitamente.

■ **Modelo Espiral** - Esse modelo é caracterizado por vários ciclos formados pelas chamadas fases de Planejamento (determinação dos objetivos, alternativas e restrições), Análise de Riscos (análise de alternativas, identificação de riscos, decisão da continuidade do projeto ou não), Engenharia (desenvolvimento do processo relativo àquela iteração do projeto) e Avaliação do Cliente (avaliação dos resultados daquela fase e sugestões para modificações). Esse modelo impõe a avaliação de riscos e o contato direto com o cliente em todas as fases do projeto. Esse modelo se utiliza das seguintes técnicas: **Técnica de Prototipação** - técnica que auxilia na definição de requisitos de projeto. Apresenta fases alternadas de montagem de protótipos e avaliação do Cliente para definição dos requisitos; **Técnicas de Simulação** - auxilia no desenvolvimento do projeto, reduzindo tempo de desenvolvimento, pois visa simular o funcionamento do novo sistema antes deste existir. O autor considera estas técnicas exclusivas ao modelo espiral, da forma como foram apresentadas. Definimos para nosso estudo o modelo de projeto mais adequado aos Projetos de Processos de Manufatura, como segue:

■ **Modelo Espiral**, para as fases de Planejamento, Análise e Engenharia (chamadas aqui de fases de Estudo Direcional, Preliminar e Detalhado), pois se tratam das fases em que o entendimento do problema é essencial para o sucesso do projeto, e portanto a análise de riscos e o contato direto com o cliente são fundamentais.

■ **Modelo Cascata**, para as fases de Implementação do processo e Implantação da produção (fases identificadas como Implementação e Validação da Produção, que são fases onde é mais difícil serem necessárias grandes modificações), e Manutenção (onde as adaptações são imediatas com interferência direta dos clientes, ou então serão alvo de um novo Projeto, com todas as suas fases).

■ Técnicas de **Simulação** para o desenvolvimento dos processos.

A seguir, é apresentado o fluxograma que ilustra a proposta de Metodologia de Projeto aplicada à Engenharia de Processos de Manufatura, e o detalhamento de cada fase do mesmo.

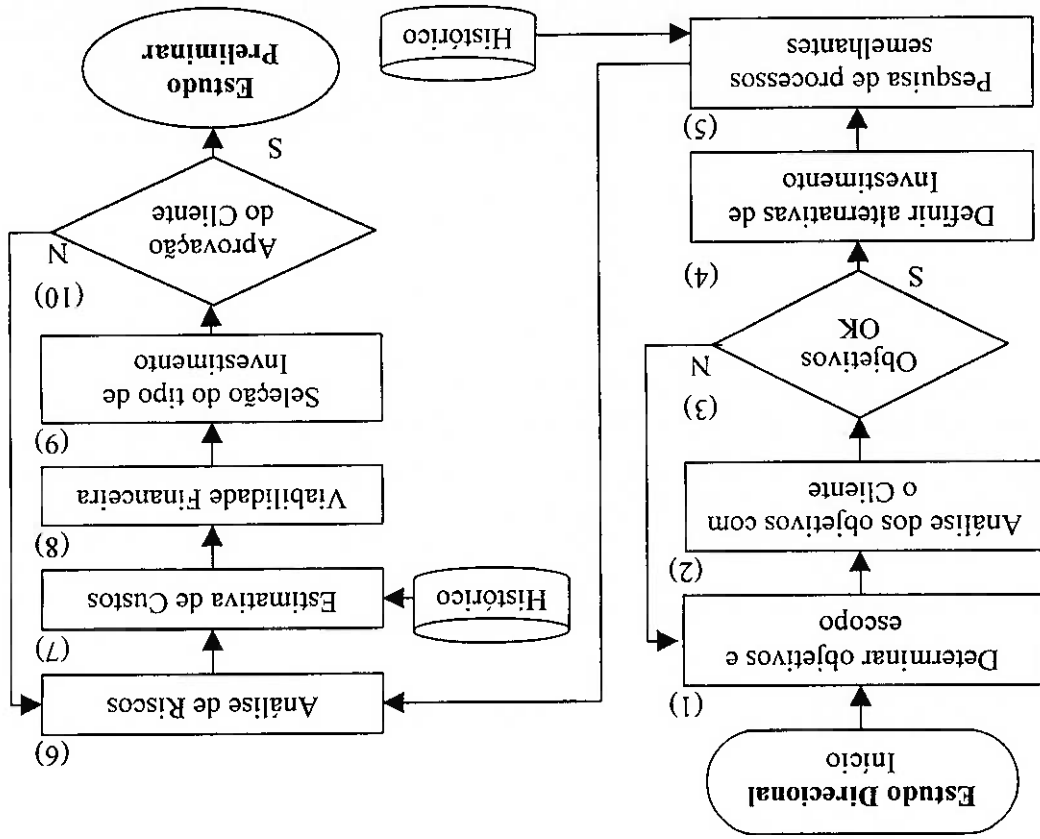


Fig. 2.1. a) – Metodologia de Projeto proposta: Estudo Direcional

Fig. 2.1. c) – Metodologia de Projeto proposta: Estudo Detalhado

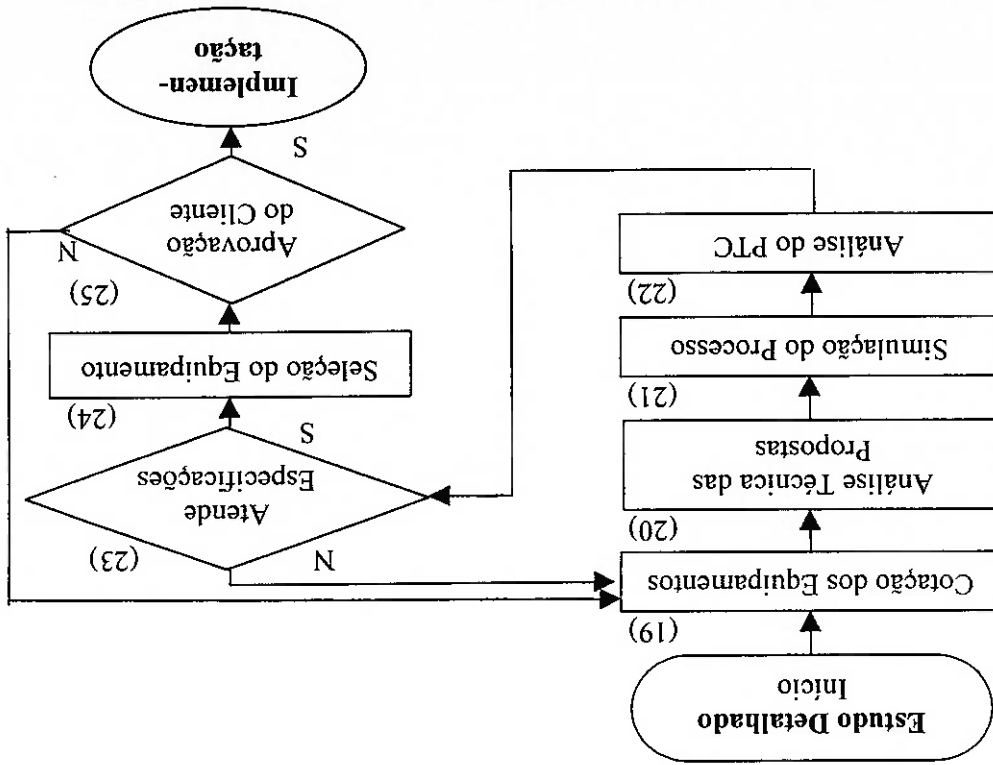


Fig. 2.1. b) – Metodologia de Projeto proposta: Estudo Preliminar

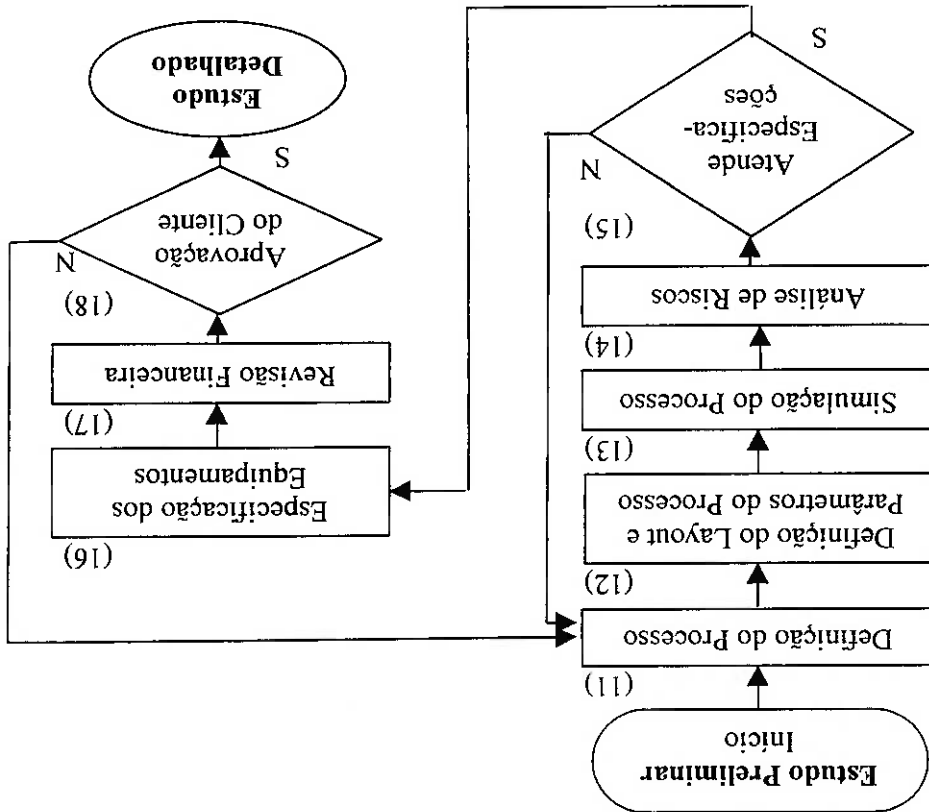
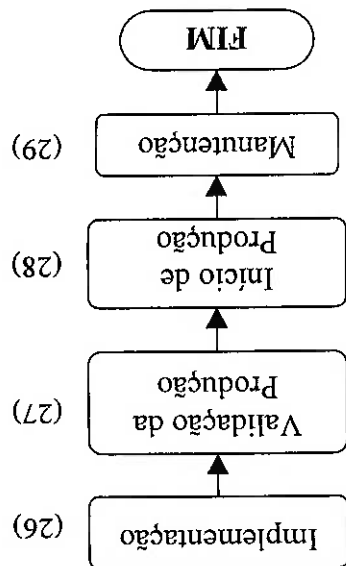


Fig. 2.1. d) – Metodologia de Projeto proposta: fases finais



Detalhamento das fases de Projeto:

Estudo Direcional:

1. Retorno de Investimento, Função, Desempenho, Restrições, Interfaces, índices de qualidade, etc.
2. Análise dos objetivos e escopos com o Cliente.
3. Aprovação dos objetivos.

4. Listar todas as alternativas de investimento possíveis de serem realizadas.
5. Pesquisar (benchmarking) sobre processos semelhantes, que possam trazer informações para o projeto atual.
6. Levantamento e análise dos possíveis riscos do projeto. Usa como ferramentas lições aprendidas de projetos anteriores e FMEA (análise de modos de falha e efeitos) de projeto.

Estudo Preliminar:

11. Após definido o tipo de investimento, entra-se na fase de definição do processo produtivo a ser utilizado.
12. Definição do arranjo físico da linha de fabricação (layout), e dos parâmetros do processo, tais como índices de disponibilidade e organização dos operadores.

13. Simulação em computador do processo como um todo, para verificação dos parâmetros do processo e definição de características como tamanho de estoques, fluxo de materiais, etc.
14. Realização de nova análise de riscos, agora porém de forma mais acurada, com preocupação em cada detalhe do novo processo. Faz-se o FMEA do processo.
15. Verificação quanto aos objetivos e escopo do investimento. Garante que o projeto não se desvie dos seus objetivos.
16. Definidos os processos produtivos, deve-se especificar com detalhes como devem ser os equipamentos para que sejam garantidos os parâmetros calculados do processo.
17. Com a definição dos processos e equipamentos, pode-se agora fazer uma estimativa mais detalhada dos custos do processo. Com isso, verifica-se novamente a Viabilidade Financeira do projeto
18. Caso a viabilidade financeira se confirme, o projeto é aprovado e a verba é liberada para início do investimento.
- Estudo Detalhado:**
19. Inicia-se a cotação dos equipamentos, baseada nas especificações definidas.
20. Após o recebimento das propostas técnicas e comerciais, faz-se a análise das mesmas quanto à sua conformidade frente às especificações.
21. Soluções ofertadas diferentes das especificadas devem ser testadas no modelo do processo, para se verificar se atendem os parâmetros do processo.
- A tabela seguinte define as responsabilidades de cada membro da Engenharia, os resultados a serem obtidos em cada fase e as evidências que comprovam que aquela tarefa foi cumprida.
22. Faz-se o cálculo do Custo Total do Processo, para cada proposta fornecida.
23. É feita uma revisão das propostas com os fornecedores, para esclarecimentos técnicos e busca de alternativas para itens da especificação não cumpridos. Caso seja necessário, pode-se refazer a cotação para a correção das ofertas.
24. Com base nas propostas técnicas e cálculo do Custo Total do Processo, define-se quem será o fornecedor do equipamento.
25. Obtém-se a aprovação final do cliente para a escolha dos fornecedores.
26. **Implementação:** Prossegue-se com a implementação do projeto, que consiste na colocação dos pedidos de compra, acompanhamento dos projetos dos equipamentos e da sua construção. São realizados testes preliminares para a liberação do equipamento para ser instalado.
27. **Validação da Produção:** Após instalado, são realizados testes de validação dos equipamentos, tais como:
- Testes funcionais
 - Durabilidade
 - Capacidade
 - Qualidade, etc.
28. **Início de Produção:** Com os equipamentos aprovados, inicia-se a produção.
29. **Manutenção:** Durante a produção, ocorrem manutenções preventivas, corretivas, adaptação da linha com a evolução do produto ou do processo. Cada ciclo de manutenção deve ser encarado como um novo projeto.

- Time de Análise de Processo de Manufatura
- 1 - Eng. Processos
 - 2 - Movim. Materiais
 - 3 - Eng. Industrial
 - 4 - Eng. Lay-Out
 - 5 - Eng. Instalações
 - 6 - Finanças
 - 7 - Gerência de Projeto
 - 8 - Fábrica
 - 9 - Cliente
 - 10 - Fornecedores

Estudo Direcional:	Descrição	Envolvidos	Resultado a serem apresentados:	Evidências:
	Definição do produto a ser processado (escopo do estudo)	9	Descrição do escopo do estudo e premissas	Desenho do Produto
	Definição de Volume de produção necessário	9		
	Definição da Jornada de Trabalho e tempo de ciclo	7		
	Análise do desenho do produto	1, 2		
	Análise de processos de produtos semelhantes (em banco de dados)	1, 3, 4	Processo e Equipamentos recomendados	Listagem de Processos Semelhantes (DB) e catálogos
	Fluxograma de blocos das operações necessárias	1, 2, 3, 4, 5	Área física necessária e Lay-out de blocos	
	Lay-out de blocos, Material Handling e Instalação necessários	1, 2, 3, 4, 5	Investimentos necessários, oportunidades e calendarização	Custos estimados e benchmark utilizado, com grau de confiabilidade
	Definição inicial dos custos de investimento para as várias opções de Processos	1, 2, 3, 4, 5, 6	Análise financeira preliminar	
	Análise de parâmetros de investimento: verba disponível, taxa de retorno, custo/peça, calendarização	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7		
	Revisão final	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7		
	Apresentação dos resultados	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7		
	Estudo Preliminar:			
	Análise do desenho do produto e do FMEA de Produto	1, 2		FMEA de projeto, Características Significativas
	Análise das Características Significativas e Críticas	1		
	Brainstorm: Possíveis processos de fabricação	1, 3, 4		Brainstorm dos processos e análise do mesmo
	Análise de processos de produtos semelhantes (em banco de dados)	1, 3, 4	Folhas de Processo	Listagem de Processos Semelhantes (DB) e catálogos
	Preparação das Folhas de Processo Preliminares	1, 3, 4		
	Levantamento de equipamentos pré-existentis/ disponíveis	1, 2, 3, 5	Novas opções de processos e equipamentos	Listagem dos equipamentos pré-existentis/ disponíveis
	Pesquisar novas tecnologias/novo aos fabricantes, e levantamento preliminar de custos	1, 2, 5		
	FMEA do Processo: revisão do FMEA do Produto, Folhas de Processo e Folha de Estimativa de Processo	Time	Folhas de Processo e Folha de Estimativa de Processo revisadas	FMEA de Processo e de Produto
	Estudo de tempos para os processos tecnicamente viáveis: quantidade necessária de equipamentos e custos de Instalação necessários através de simulação	1, 2, 3	Folha de Estimativa de Processo	
	Lay-out de blocos e Material Handling	1, 2, 3, 4, 5	Área lay-out de blocos e investimentos de MH	Listagem de Processos Semelhantes (DB) e catálogos
	FMEA dos Equipamentos	1, 2, 3, 4, 5, 8, 10	FMEA dos Equipamentos	
	Estudo de Confiabilidade e Manutenibilidade (R&M)	1, 2, 3, 4, 5, 8, 10	MTBF, MTR e lista dos maiores falhas	Listagem dos fornecedores
	Especificação dos equipamentos	1, 3, 4	Especificação detalhada dos equipamentos	Especificações
	Revisão Financeira Final	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	Análise técnico/financeira e recomendações finais	
	Apresentação dos resultados e aprovação do cliente	Time		
	Estudo Detalhado:			
	Seleção dos equipamentos junto aos fornecedores	1, 2, 3	Proposta Técnica e Comercial de cada fornecedor	Propostas
	Análise das cotações	1, 2, 3	Atendimento aos parâmetros do processo	Resultados da Simulação
	Revisão das cotações dos equipamentos junto aos fornecedores	1, 2, 5		Cotações dos fornecedores
	Cálculo do Custo Total do Processo (PTC)	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8	Folha de Estimativa de Processo revisada e LCC	
	Revisão da análise financeira	1, 2, 3, 4, 5, 6	Folha de Controle Financeiro do Projeto	
	Estimativa detalhada do custo total de cada operação	1, 2, 3, 4, 5, 6	Planilha de Custos por Operação	Folhas de Processo e Folha de Estimativa de Processo revisadas
	Revisão Final	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	Análise técnico/financeira	
	Apresentação dos resultados	Time		

Tab. 2.1. – Responsáveis e Resultados Esperados para cada fase de Projeto:

2.3. Análise de Investimentos – Estudo Direcional

A análise de investimentos não faz parte do nosso escopo de trabalho, porém ela será aqui apresentada como base para o desenvolvimento do cálculo do custo total do processo, resultante dos processos produtivos a serem analisados.

Ao se falar sobre investimento de capital, temos que considerar as várias formas que este capital pode ser aplicado: podemos nos referir a uma simples compra de um bem de produção do qual se espera um retorno financeiro, ou de uma aplicação financeira na bolsa de valores, ou uma série de outros tipos de aplicação financeira, produtiva ou em serviços. Cada uma dessas formas de investimento conduz a um resultado diferente em uma análise econômico-financeira, dependendo do tipo de retorno que cada uma dessas opções proporciona. Para avaliar essas opções, devem ser realizadas análises de viabilidade das mesmas, sob diferentes aspectos, que serão explicados a seguir:

As análises da viabilidade do investimento são feitas levando em consideração o tipo do investimento, o valor total investido, custo total do produto resultante, a “taxa interna ou intrínseca de retorno sobre o Investimento (IRR)” e o “custo de ciclo de vida (LCC)” do produto, frente ao montante de capital disponível para investimento e o “custo de oportunidade” da empresa. Esses termos serão explicados mais adiante. Define-se qual o investimento mais indicado, financeiramente falando, a partir da comparação destes índices (tangíveis) com os de outras opções de investimento. Fatores intangíveis também devem ser observados.

2.3.1. Tipos de Investimento e suas Fontes de Variação

Na prática, encontramos as seguintes opções de investimentos, quando se trata de projetos de manufatura:

- Investimento em processos internos de manufatura com compra dos equipamentos através de pagamentos programados, financiamento ou arrendamento tipo leasing ou aluguel.

■ investimento em terceirização da produção, com pagamento de ferramental especial (exclusivo para aquele tipo de peça não padrão) ao fornecedor.

■ investimento em terceirização da produção, com custo do ferramental especial amortizado no custo da peça.

■ investimento em terceirização da produção, com sessão de equipamentos ao fornecedor em regime de comodato (com equipamentos novos ou já existentes).

Os principais fatores que podem influir na escolha do tipo de investimento são:

■ possibilidade de combinação de diferentes formas de investimento;

■ processo novo ou adaptação de processo existente;

■ origem dos equipamentos/ produto (nacional/ importado);

■ tipo de produto;

■ flexibilidade quanto à quantidade de diferentes modelos produzidos;

■ flexibilidade quanto à variação no volume de produção requerido;

■ problemas trabalhistas ou acordos sindicais, que exijam a permanência de mão de obra na empresa;

■ exigências de equilíbrio de importações/ exportações na balança comercial;

■ níveis de estoque/ custos de inventário aceitáveis;

■ versatilidade do processo quanto a mudanças no produto produzido;

■ política de impostos vigente;

Na fase inicial do projeto (Estudo Direcional) devem ser levantadas todas as opções de investimento para que seja feita uma análise de qual das opções seria mais vantajosa financeiramente, ou seja, qual delas nos traria maior retorno financeiro. A partir daí devem ser desenvolvidas as análises de viabilidade mercadológica, econômica e financeira de cada uma das opções levantadas.

2.3.2. Análise de Viabilidade Econômica e Financeira de Investimentos

Ha varias formas de análise [Ehrlich 89] para se decidir qual a melhor solução em investimento, dependendo do tipo de preocupação da empresa, mas a grande maioria delas não nos levarão a resultados semelhantes. Porém para realizar as comparações

tenha um resultado positivo. Ideal para se fazer estudo de sensibilidade do

- Ponto de Equilíbrio: análise de qual o volume mínimo a ser produzido para que se forneçadores e sub-forneçadores).

da análise dos custos da cadeia de suprimento (custos intermediários de cada um dos Baseado em Atividades), a fim de se saber corretamente o custo daquele produto, e de vendas. Para esta análise, o ideal é se utilizar do método de custeio ABC (Custeio ser aplicado a fim de se ter um lucro mínimo aceitável, sob um determinado volume

- Target Cost: (custo meta): faz-se a conta inversa - qual o custo máximo que pode vendas.

maximizada. É utilizada quando se tem flexibilidade de volume de produção e volume de vendas seria o ideal para que a margem de contribuição total seja

- Preço de Venda: através da função $\text{Preço} = f(\text{Volume})$, faz-se a análise de qual

correlações, como as citadas a seguir:

para que aquele produto seja aceito pelo mercado, podemos fazer alguns tipos de as suas condições comerciais), ou seja, a verificação de quais as condições de venda Para a análise da viabilidade mercadológica de um investimento (com relação apenas

a) Viabilidade Mercadológica

financeiramente falando [Ehrlich 89], frente a um leque de opções apresentadas.

Viabilidade Financeira, compara qual o melhor investimento a ser feito, dará prejuízo (ou valor atual do fluxo de caixa negativo). O terceiro tipo de análise, investimento é viável sob o ponto de vista econômico [Ehrlich 89], isso é, se não citado. A segunda, *Viabilidade Econômica*, verifica se determinada opção de escopo de estudo, pois refere-se a estudos de mercado e concorrência - será apenas de mercado e da empresa [Martins 00]. Esse tipo de análise não faz parte do nosso *Mercadológica*, avalia a viabilidade de determinado investimento frente às condições Consideramos três formas de análise de investimentos. A primeira, *Viabilidade* mercadológicas, para que os resultados obtidos sejam consistentes e confiáveis trabalho (mesmo produto, mesmo volume de produção), ou mesmas condições de mesma referência temporal (períodos de tempo iguais), mesmas condições de devemos tomar alguns cuidados, tais como comparar as várias opções sempre sob a

investimento frente a variações de volume de vendas. Existem pelo menos três tipos de ponto de equilíbrio: **Contábil**, quando receita menos custos e despesas totais dão resultado nulo; **Econômico**, quando este resultado coincide com o custo de oportunidade do capital próprio empregado; e **Financeiro**, quando produzem saldo inalterado em caixa, independente de resultado contábil e econômico. Cada 1% de alteração nos custos/despesas fixas corresponde a 1% de mudança no ponto de equilíbrio. Já mudanças nos custos/despesas variáveis, o efeito dependerá do grau de alteração na margem de contribuição unitária.

b) Viabilidade Econômica

A análise da viabilidade econômica nos dirá se vale a pena realizar aquele investimento, ou seja, se ele nos trará lucro. Essa análise pode ser feita de várias formas, entre elas podemos citar as mais comuns [Ehrlich 89]:

■ **Tempo de retorno (*Pay-Back Time*):** O método avalia o tempo de retorno do valor investido através do lucro resultante, e analisa o resultado quanto à sua viabilidade, dependendo do que é interessante para a Empresa. Não considera a mudança de valor do dinheiro ao longo do tempo, e simplesmente soma as parcelas sem qualquer transformação. Não é recomendado pelos autores de engenharia econômica.

■ **Lucro Bruto do Produto:** O preço de venda vezes a quantidade produzida, e menos o custo total, representa o lucro bruto da empresa, que então é analisado e definido como sendo viável ou não. O valor do Custo Total do produto inclui a parcela referente à amortização do investimento, porém também não considera a influência do fator tempo sobre este montante. Este método é uma boa referência para se determinar a viabilidade mercadológica de um investimento quanto ao preço de mercado, porém não é indicado para análise de viabilidade econômica.

■ **Valor Atual (VA):** Representa o resultado do Fluxo de Caixa do investimento. Considera todos os custos decorrentes do processo e do investimento, e o lucro do projeto. É perfeito para a análise da viabilidade econômica, pois um resultado positivo no fluxo de caixa representa lucro.

■ **Equivalente Uniforme Anual (EUA):** Representa o custo que incorremos pelo uso dos meios produtivos durante cada ano. Considera parcelas de amortização do

investimento e os custos anuais do processo. É equivalente ao VA, porém fica difícil considerar custos extraordinários ou custos que não sejam constantes ano a ano.

■ Taxa de Retorno Intrínseca (IRR - Internal Return Rate): Apesar de ser de cálculo mais complicado, é o melhor de todos os métodos, pois considera o custo do dinheiro no tempo e nos diz o custo de oportunidade de se adotar aquela alternativa de investimento (retorno financeiro). Pode-se então comparar este retorno ao custo de oportunidade da empresa, para se verificar se o investimento é viável ou não. Esse método é equivalente à análise do VA - Valor Atual, e do EUA - Equivalente Uniforme Anual. A diferença é que o VA e o EUA nos informam a viabilidade econômica e nos dizem até qual o melhor investimento, porém não comparam o resultado financeiro com o custo de oportunidade da empresa (viabilidade financeira).

c) Viabilidade Financeira e Seleção de Investimentos

A análise de viabilidade financeira refere-se à comparação do retorno financeiro proporcionado por um tipo de investimento com o custo de oportunidade da empresa (taxa de retorno a que ela teria acesso no mercado financeiro), ou com o de outra opção de investimento. A sua análise pode ser feita sob os seguintes critérios [Ehrlich 89]:

■ Análise do Menor Investimento: Trata-se do tipo de análise mais simples e uma das mais utilizadas, porém nos levam a resultados completamente equivocados, pois não se considera o custo do capital no tempo e nem o custos decorrentes no processo produtivo. É a simples comparação entre os valores totais dos investimentos, não se preocupando sequer com os ganhos referentes a cada tipo de alternativa. Deve ser evitada a sua utilização.

■ Menor tempo de retorno (Pay-Back Time): O método afirma que o melhor investimento é aquele com o menor tempo de retorno do investimento. A sua falha é não considerar a mudança de valor do dinheiro ao longo do tempo, e simplesmente soma as parcelas sem qualquer transformação. Como já dito, o método é fortemente não recomendado pelos autores de engenharia econômica.

a) Análises Analíticas

De acordo com [Kidd 95], a escolha da melhor opção de investimento não deve se basear unicamente nos índices financeiros - devem ser considerados também fatores intangíveis igualmente importantes na análise. O autor apresenta uma forma de análise analítica e outra estratégica, como segue:

2.3.3. Análises Analíticas e Estratégicas

- não nos informa qual o retorno financeiro de cada investimento isoladamente. ■ Melhor Taxa Interna de Retorno Intrínseca (IRR - *Internal Return Rate*): É o melhor de todos os métodos, pois considera o custo do dinheiro no tempo e nos diz o custo de oportunidade de se adotar uma ou outra alternativa de investimento (retorno financeiro), além de podermos avaliar mais facilmente investimentos incrementais.

caixa trazido para uma mesma data de referência, considerando-se a taxa do custo de oportunidade da empresa. É uma boa forma de comparação entre investimentos, pois considera todos os custos e receitas, aplicados no tempo, e ainda leva em consideração o custo de oportunidade da empresa, porém só serve para comparações

■ Melhor Valor Atual (VA): Trata-se do valor equivalente ao resultado do fluxo de resultados errôneos.

entre alternativas de investimento. ■ Melhor relação benefício/ custo: Pode ser apresentada na forma Benefício dividido pelo Custo (B/C) ou Benefício menos o Custo (B-C). No primeiro caso o resultado deve ser maior que um, e no segundo, deve ser positivo. A comparação entre duas alternativas é possível, porém é uma relação de difícil interpretação, pois não tem significado matemático, e dependendo de como é aplicada pode trazer a

um investimento quanto ao preço de mercado, porém não serve para comparação custo total é uma boa referência para se determinar a viabilidade mercadológica de formado por uma parcela referente à amortização do valor do investimento, porém também não considera a influência do fator tempo sobre este montante. Como dito, o

■ Menor Custo Total (TC) do Produto: O valor do Custo Total do produto é

■ Análise de valor: consiste em levantar todos os benefícios e malefícios trazidos pelo novo investimento, de forma detalhada, sempre transformado-os em termos financeiros. A melhor maneira de fazê-lo é através da observação de uma área-piloto real, para levantamento dos dados para a análise. Corresponde ao cálculo do custo total do processo durante o ciclo de vida do produto, referente a aquele investimento.

■ Análise de Portfólio: consiste em ranquear os investimentos candidatos da carteira de investimentos possíveis, com base em aspectos considerados importantes para a empresa. Essa classificação pode ser do tipo passa/não-passa, onde são classificados apenas os investimentos que atendem a aquela especificação, ou através de notas (ver capítulo sobre Processos Decisórios).

b) Análises Estratégicas

■ Importância Técnica: quando a introdução do projeto analisado é essencial para a introdução de um projeto maior, mesmo que o primeiro não seja plenamente justificável financeiramente, em uma primeira análise.

■ Importância de Negócios: quando o projeto em questão é importante do ponto de vista da estratégia de negócios, como por exemplo, aumento da satisfação do cliente, projetos sociais, introdução em novos segmentos de mercado, etc.

■ Vantagem Competitiva: quando a introdução do novo projeto vai resultar em alguma vantagem competitiva para a empresa, que pode se dar através de promoções em vendas, aplicação de novos materiais, suporte para a manutenção das vendas de outros produtos coligados, etc.

■ Pesquisa e Desenvolvimento: se o projeto, por si só, não trará nenhum benefício imediato, mas caso demonstre sucesso tecnicamente, propiciará a implementação de projetos mais vultosos, que trarão o retorno desejado. É o caso típico de pesquisa em engenharia de novos produtos e tecnologias.

Esses tipos de análise são comuns, porém geralmente não são adequadamente documentadas, ou não levam em consideração os aspectos financeiros provenientes subjativos em valores financeiros, para que a empresa realmente tenha a noção das consequências decorrentes do fazer ou do não fazer o projeto.

A comparação entre opções de investimentos deve ser feita sempre sob um mesmo horizonte de tempo, ou seja, por um período que seja o mínimo múltiplo comum dos períodos de cada opção, ou um equivalente anual dos mesmos. Uma terceira opção seria considerar o período do ciclo de vida do produto, e o valor residual de cada opção de investimento (ou do seu reinvestimento, se necessário) no fim daquele período.

Para a comparação entre investimentos concorrentes adotaremos o método do **Valor Atual**, que nos indicará a opção de menor custo total durante o ciclo de vida do produto. O período de comparação será o ciclo de vida do produto.

CAPÍTULO 3. CUSTO TOTAL DO PROCESSO DE MANUFATURA

3.1. Custos do Processo Produtivo

Os custos de Engenharia de Projeto iniciam-se nas primeiras fases do Projeto – Estudos Direcional e Preliminar - e estendem-se até a fase de Validação da Produção. Já os custos de Processo começam na fase de Implantação, terminando apenas no fim da vida útil do processo (quando a última peça é produzida por aquele processo). Estes últimos compreendem uma série de custos e despesas, fixos e variáveis, que serão definidos a seguir.

Lembrando que o objetivo deste trabalho é definir critérios de especificação e seleção de equipamentos visando a redução do custo total do processo, durante a vida do produto, nesse capítulo vamos identificar todos os fatores que podem ser previstos durante a especificação do equipamento, a fim de reduzir cada parcela formadora do custo do produto.

Definimos Processo de Manufatura como todo o tipo de atividade relacionada à fabricação de um determinado produto, seja esta relação direta, quando a atividade é a responsável direta pela fabricação, quanto indireta, quando trata-se de uma atividade de suporte à produção.

Os tipos de processo a serem abordados neste trabalho são os seguintes:

a) Processos de Montagem: Na manufatura, montagem de produtos é o processo de colocar juntos todas as peças, componentes e sub-montagens a fim de formar o produto final [Gu-Nortie 95]. Dentre os processos de montagem podemos citar Prensagem, Parafusamento, Torqueamento, Rebiteamento, Colagem, Soldagem, Puncionamento, Encaixe, etc.

Vamos agora, de acordo com [Martins 00], descrever e identificar os componentes que compõem cada parcela dos custos fixos de um produto e como deverão ser contabilizados. São considerados custos fixos aqueles que não sofrem variação com o volume de produção, dentro de certos intervalos de volume e de tempo. Também acabam sendo incluídos nessa classificação aqueles custos que, apesar de variáveis, são difíceis de se contabilizar como tal, como por exemplo os custos de manutenção preventiva. Esse tipo de custo resulta de serviços realizados periodicamente ou de acordo com a quantidade de peças produzidas, porém geralmente eles não são estratificados por equipamento e por volume de produção, o que inviabiliza sua contabilização como custo variável.

3.1.1. Custos Fixos

Não iremos considerar quaisquer outros processos que não citados acima, pois isso exigiria uma maior generalização das planilhas de comparação de processos, desenvolvidas na metodologia proposta, o que tornaria o estudo de difícil aplicação prática.

b) Processos de Usinagem: Todo processo usado para converter matéria bruta em produtos acabados, através de remoção de sobremetal [Gu-Norrie 95]. São exemplos de processos de usinagem: Torneamento, Fresagem, Rebarbação, Chanframento, Planagem, Retificação, Brumimento, Furação, Alargamento, Brochamento, Ronimento (super-acabamento), Lixação, etc.

c) Processos de Tratamento Térmico: Têmpera, Revenimento, Cementação, Nitretação, Fosfatização, Metalização, etc.

d) Processos de Movimentação de Materiais: Transporte de peças manual, por transportadores, por calhas, por manipuladores, por veículos auto ou teleguiado, etc.

Considerando os fatores provenientes da especificação dos equipamentos (objetivo do nosso trabalho), descreveremos quais desses fatores podem afetar o custo fixo.

Mão-de-Obra indireta e Serviços contratados - é formada pela folha de pagamento de mensalistas, horistas de suporte à produção, gerência, e serviços contratados, tais como limpeza, lubrificação, remoção de resíduos, manutenção, logística, atiação de ferramentas, etc. Geralmente aparece na forma de rateio (Custeio por Absorção), mas preferivelmente deve ser calculado com base nas próprias operações do processo analisado (Custeio Baseado em Atividade). Os fatores que influem no custo da mão-de-obra e serviços indiretos, decorrentes da especificação do equipamento, são:

- grande variação no volume de produção (não previsto no escopo de projeto);
- equipamento de usinagem que apresenta grande consumo de ferramentas de corte, exigindo maior custo de setup para troca de ferramentas e afiação das mesmas;
- alto nível de quebras da máquina (indisponibilidade para produzir) ou grande exigência em manutenção preventiva, o que resulta em necessidade de mão-de-obra de manutenção;
- elevada geração de resíduos, exigindo mão-de-obra para a retirada dos mesmos e custos de descarte;

- baixos níveis de qualidade do processo (capabilidade), que possam exigir uso constante do departamento de qualidade (medições, controles, etc.);
- terceirização desmedida de serviços de suporte à produção, o que pode levar a custos superiores aos internos à empresa.

Instalações e utilidades - custo das instalações de uso comum, tais como água, energia, consumíveis, aluguéis, refeitório de funcionários, telecomunicações, seguros, combustíveis de máquinas e veículos, etc. Aparecem geralmente na forma de rateio, como porcentagem em relação ao custo de mão-de-obra direta. Fatores de influência:

- alto consumo pelo processo, de energia ou consumíveis;

- variação no preço das utilidades (água, energia) e consumíveis (gases, óleos, materiais industriais);
- expansões/ adaptações prediais necessárias, e altos custos de instalação, resultantes do tipo de equipamento selecionado, como exigência de fundações;

Inventário - custo de estoques de peças produtivas, peças de manutenção de máquinas, ferramentas duráveis e consumíveis, materiais de uso na empresa tais como de limpeza, papelaria, equipamentos de proteção individual (EPIs), etc. Referente ao custo do dinheiro imobilizado no estoque. Pode ser afetado por:

- política de gerenciamento de estoques (exemplo: terceirização dos mesmos, com apropriação do material somente na hora da utilização em just-in-time);
- política de consignação dos materiais, onde a apropriação dos mesmos ocorre somente no faturamento do produto final;
- comunicação de componentes do produto produzido, reduzindo o número de peças em estoque;
- comunicação de componentes de máquinas,
- uso de componentes padronizados (comuns de mercado e de fácil aquisição);
- balanceamento da produção e dimensionamento de estoques;
- redução de movimentação de materiais resultante de um layout bem elaborado (reduz o tempo do material na fábrica, consequentemente seu estoque interno, e reduz perdas por daniificação em transporte, além de facilitar controle de inventário);
- automatização do controle de inventário, evitando perda de materiais e proporcionando maior eficiência na reposição do estoque;
- centralização do estoque;

Amortização - devido à reposição do capital investido. É função do valor do investimento, da vida útil e da taxa de desconto da empresa. Geralmente este custo é alocado adequadamente à linha do produto da qual faz parte. Quando se trata de um ativo não utilizado diretamente na produção, sua amortização é rateada entre os produtos da empresa. Pode variar com:

Depreciação - não representa um custo real do produto. É apenas um custo contábil a fim de propiciar redução de impostos, porém não entra diretamente no cálculo do custo do produto. Geralmente é feita linearmente em 10 anos, ou na vida estimada do equipamento. Afeta o fluxo de caixa da empresa dependendo da forma de depreciação. Por se tratar de um fator contábil não vamos considerar no estudo a sua influência sobre a tributação de impostos, pois para tal, teríamos que nos preocupar com o preço de venda e o lucro bruto resultante, análise que não faz parte do escopo deste trabalho. Entretanto, vamos usá-lo como estimativa do valor residual do equipamento, no fim de vida do produto.

Frete e movimentação de materiais produtivos - entram como despesa, e se referem aos custos internos de logística de materiais produtivos. Podem ser atribuídos aos produtos a que se referem, quando possível, tornando-se assim uma despesa variável. Quando não é possível esta atribuição direta, faz-se o rateio. Pode variar com:

- escolha do local a ser instalado o novo processo, em função da distância dos fornecedores e clientes;
- programação de prazos de entrega do equipamento (um atraso pode tornar necessário, por exemplo, um embarque aéreo, no lugar de um marítimo, que é muito mais barato);
- projeto do processo para trabalhar com lotes econômicos de produto;
- controle de estoques;
- programação de entregas (just-in-time, kanban, peças call, etc);
- política de impostos e taxas governamentais;

- valor do investimento e forma de amortização;
- forma de depreciação fiscal;

3.1.2. Custos Variáveis

Mão-de-Obra direta e Serviços contratados - custo de trabalhadores e serviços ligados diretamente à produção, afetado diretamente pelo volume. É a folha de pagamento dos operários das operações produtivas da empresa. É um custo facilmente identificado na operação, e é geralmente calculado em função do número de operadores programados para aquela operação, na forma de minutos trabalhados por peça (*work standard*). Pode sofrer variação com:

- variação no volume de produção;
- automação de operações;
- índice de rejeitos de qualidade, que exigem operações de reparo;
- quebra de máquinas;
- baixo rendimento da produção;
- baixa na produção devido à falta de componentes/ matéria-prima;
- retenção de mão-de-obra ociosa, devido a acordos sindicais;

Matérias-primas e Embalagens (Produtivos) - matérias-primas e componentes comprados utilizados na manufatura dos bens produzidos, assim como o custo das embalagens necessárias no acondicionamento e transporte destes componentes. Também é um custo facilmente alocado à linha do produto a que se refere. Varia com:

- variação nos preços de componentes comprados devido a mudanças de mercado ou cotações cambiais;
- variação no volume de produção, que pode variar seu preço devido a economia de escala;
- variação da demanda de entrega no ponto de uso, que pode modificar a quantidade requerida de produtos por embalagem;
- variação nas condições de armazenamento ou transporte que exigem mudança de embalagens;

Frétes e movimentação de materiais produtivos - custos de logística ligados diretamente à produção, referentes a materiais produtivos, desde que identificáveis a qual produto se relacionam. Como exemplo temos custos de frete, impostos, taxas,

- eficiência geral da linha;
- condições de conservação/manutenção das máquinas;
- variação de qualidade da matéria-prima (no caso de ferramentas de usinagem);
- consumo dos equipamentos – afetado pelo projeto dos mesmos;

sofrer variação com:

durante a produção, desde que identificáveis a qual produto se relacionam. Pode de limpeza, ferramentas de consumo, lubrificantes e demais materiais consumidos produção dos bens, porém que não fazem parte do produto final, tais como materiais Materiais Industriais ou de Consumo (não-Produtivo) - materiais utilizados na

- aumento de preço do fornecimento de energia;
- baixa na produção devido à falta de componentes/ matéria-prima;
- baixo rendimento das máquinas;
- quebra de máquinas;
- índice de rejeitos de qualidade, que exigem operações de reparo;
- consumo dos equipamentos – previsão de sistemas de conservação de energia;

variação:

que possa ser identificado como pertencente a aquele processo. Tem como fonte de demais recursos de utilização direta e específica em determinado processo produtivo. Recursos energéticos - parte da energia elétrica, gases, fluidos, ar comprimido e

- resíduos, e custos de retorno das mesmas;
- política de embalagens (duráveis ou descartáveis) devido aos custos, descarte de embalagens;
 - problemas ergonômicos ou de doenças do trabalho causados pela manipulação de

armazenamento, seguro, movimentação, embalagens do produto final, etc. Pode

variar com:

■ estratégia de transporte escolhido (just-in-time, *milk-run*, em lotes, etc.);

■ tipo de transporte (terrestre, marítimo, aéreo, férreo);

■ tamanho dos lotes;

■ localização do fornecedor (em outra cidade, estado ou país), que pode influir na

carga de impostos sobre a circulação de mercadorias;

■ variação nas taxas de importação/ incentivos à exportação;

■ estratégia de compra dos produtos (compra direta, consignação, *pay-per-*

production, etc.);

■ custos de seguros;

Custos de garantia - custos ligados à manutenção em campo e garantias de fabricação

dos produtos em uso pelo cliente, durante o período estipulado no contrato de venda.

mais o custo da responsabilidade civil sobre os efeitos do produto defeituoso sobre a

sociedade. Depende indiretamente do volume de vendas, pois é um custo que virá a

aparecer apenas algum tempo após a venda, quando o produto estiver em uso. É de

fácil identificação sobre a qual produto se refere. A sua estimativa geralmente faz

parte do escopo do projeto, cujo processo deverá ser planejado de forma a atender a

esta expectativa. Podem ser afetados por:

■ qualidade da fabricação;

■ projeto do produto;

■ qualidade de componentes comprados;

■ erro na análise de riscos de problemas potenciais de fabricação.

3.2. PTC - Custo Total do Processo de uma Operação Produtiva

Como vimos no capítulo anterior, de acordo com os conceitos de Matemática Financeira [Ehrlich 89], nos estudos de Viabilidade Econômica e Financeira para a seleção de investimentos, abandonou-se a análise pura e simples do valor do investimento inicial, e passou-se a analisar o resultado do fluxo total de caixa do investimento, onde são considerados todas as despesas e receitas envolvidas no projeto. A este fluxo de caixa chamamos de **Custo de Ciclo de Vida do produto**, ou simplesmente **LCC (Life Cycle Cost)**. O LCC deve considerar todos os custos e receitas desde a concepção do projeto (idéia inicial) até o fim da vida útil do produto. Considera-se **vida útil do produto** o período compreendido entre a primeira peça produzida até a última, quando o produto sai de linha devido à sua obsolescência técnica ou financeira (quando não é mais vantajosa financeiramente a sua comercialização). Outra forma equivalente de seleção de investimentos apresentada é a análise da taxa de retorno financeiro proveniente daquele investimento: a **Taxa de Retorno Intrínseca**, ou **IRR (Internal Return Rate)**. Como vimos, esta taxa de retorno deve ser calculada considerando o custo do dinheiro no tempo, ou seja, deveremos levar em consideração os efeitos das taxas de juros e da inflação e o custo de oportunidade da empresa. O **Custo de Oportunidade** (ou Taxa de Desconto) de uma empresa é a lucratividade a que ela tem acesso de forma garantida, caso não invista o seu capital em nenhum novo projeto. Um exemplo simples de custo de oportunidade seria a taxa de juros de aplicação bancária a que a empresa tem acesso. O IRR corresponde ao custo de oportunidade que tornaria o investimento aceitável, ou seja, aquele que levaria o valor atual total dos investimentos ser igual ao valor atual total das receitas líquidas. **Valor Atual** é a soma do valor correspondente das várias parcelas trazidas para o mesmo tempo $t=0$, considerando o custo de oportunidade do dinheiro.

Para o nosso estudo, usaremos esse tipo de análise não para selecionar formas de investimento, mas sim para selecionar qual o equipamento (ou processo produtivo) nos levará ao menor custo de ciclo de vida do produto. Para tal, deveremos

desconsiderar no cálculo do *LCC* todas as parcelas comuns aos processos concorrentes, ou seja, todas aquelas parcelas que não dependem do processo escolhido, tais como valor de venda do produto, custos decorrentes de outras operações complementares (desde que comuns aos processos concorrentes), custos não-produtivos, serviços comuns, etc. O valor resultante do *LCC* corresponderá ao que chamaremos de **Custo Total do Processo (PTC – Process Total Cost)** relativo a aquela operação produtiva.

Para que possamos calcular de forma correta o **Custo Total do Processo**, precisamos saber todos os custos associados a aquele processo que afetará o **Custo Total do produto** a ser manufaturado.

As formas de cálculo dos conceitos financeiros envolvidos serão apenas apresentadas, pois a sua prova matemática não faz parte do escopo deste trabalho. Uma vez que existe vasta literatura a respeito. Será também apresentada a forma de cálculo da taxa de retorno sobre investimento (IRR), apenas para completar o raciocínio sobre a análise de investimentos.

3.2.1. Custo Total do Processo (PTC)

O **Custo de Ciclo de Vida** de um produto nada mais é que a somatória no tempo da multiplicação do Valor Atual do Custo Total do Produto, pelo Volume de Produção, aplicado durante toda a vida útil do produto. Assim:

$$LCC = \sum_{t=0}^{t=to} VC(t) \cdot V(t) + FC(t)$$

onde,
 $VC(t)$ = Valor Atual do Custo Variável do produto no instante t
 $FC(t)$ = Valor Atual do total dos Custos Fixos do produto no instante t
 $V(t)$ = Volume de produção no instante t
 T = Tempo de vida útil do produto

Uma vez que não temos como saber quais serão os custos e o volume em cada instante da vida útil do produto, apelamos para uma previsão do Custo de Ciclo de Vida, que deverá ser calculado considerando as seguintes parcelas [Ehrlich 89]:

- a) Volume de Produção - Deve ser considerado o volume previsto para todo o ciclo de vida do produto.
- b) Investimento inicial - Devem ser contabilizadas todas as parcelas do investimento, calendarizando-as no tempo, de acordo com a necessidade de utilização dos recursos. Compreende os recursos para a compra de equipamentos e ferramentas de produção, movimentação de materiais, instalação dos equipamentos, custos de treinamento de mão-de-obra e despesas de lançamento (try-out e aprovação das máquinas, peças de try-out, serviços contratados, fretes, protótipos e recursos para validação da produção, viagens). Despesas de Lançamento são gastos não depreciáveis.
- c) Custos Totais do projeto - Considerar os custos fixos da área de projetos (departamento de Engenharia e áreas suporte, equipamentos e ferramentas de projeto, desenvolvimento do sistema de qualidade), custos "variáveis" (serviços e recursos contratados, testes de desenvolvimento do produto e manufatura, custo de protótipos de desenvolvimento, desenvolvimento e gerenciamento do projeto). Estes custos geralmente são lançados como custos fixos da fábrica (como mão-de-obra indireta, sendo cobertos pelo orçamento anual do departamento, no caso dos custos fixos e variáveis do projeto), ou então pagos como despesas de lançamento dos programas.
- d) Custos de capitalização - São os juros cobrados nos empréstimos tomados para o investimento. São dedutíveis de imposto de renda (gerando uma parcela de receita), porém entram como despesa no Custo Total do produto.
- e) Custos de arrendamentos e amortização das dívidas (empréstimos, leasings e alugueis) - São os pagamentos de restituição da parte principal dos valores financiados (sem os juros), ou o pagamento das parcelas de alugueis ou leasings (este último, dedutível de Imposto de Renda).
- f) Depreciação dos investimentos - Desvalorização anual dos bens adquiridos no projeto. Entra contabilmente como despesa no Custo Total do produto, e é dedutível de Imposto de Renda, gerando portanto uma postergação de despesas. Entretanto,

não é um custo real de projeto, pois este custo já está representado no investimento inicial mais o valor residual.

g) Imposto de Renda e outras taxas, e suas deduções - O Imposto de Renda é aplicado sobre o lucro bruto, já deduzidas as parcelas de despesas por depreciação e pagamento de juros e arrendamentos (leasing ou aluguel). O lucro bruto também já reflete a cobrança dos demais impostos e contribuições (sobre serviços, industrialização, circulação de mercadorias, programas sociais, etc.). Não está associado diretamente ao custo do produto, e sim ao lucro gerado por ele. Na parcela do LCC referente à amortização do investimento, deve-se considerar a dedução do imposto de Renda (desconto) devido ao pagamento de despesas com os arrendamentos dos equipamentos. Esse desconto é igual ao valor da despesa vezes a taxa do imposto. Quanto às demais taxas e impostos, também devem ser consideradas as isenções e incentivos, de acordo com o tipo de equipamento comprado.

h) Valor residual dos bens de produção adquiridos - São os valores de mercado dos bens no fim da vida útil do produto. Estes bens podem ser vendidos a este preço, ou reaproveitados em outros projetos.

i) Custo Total de fabricação do Produto - Todos os custos envolvidos na fabricação do produto.

j) Preço de venda do produto - É o valor pelo qual o produto será vendido. Este valor é definido segundo as regras de livre concorrência do mercado, e reflete o quanto o cliente está disposto a pagar por ele. Ele é importante para a Análise de Viabilidade Econômica e Financeira do projeto.

k) Reinvestimento do lucro líquido - É a reaplicação das parcelas positivas do fluxo de caixa, no mesmo ou em outro investimento, ou até mesmo ao custo de oportunidade da empresa. Esta parcela deve ser considerada para cálculo da taxa de retorno do investimento.

A combinação destas parcelas forma o fluxo de caixa do investimento. O LCC corresponde ao valor atual do fluxo de caixa, considerando o custo de oportunidade da empresa.

$$PTC = \sum_{n=1}^N \frac{A_n}{(1+i)^n}$$

preço de venda e o reinvestimento do lucro.
 referentes apenas aos custos daquele processo produtivo, não se preocupando com o
 O **Custo Total do Processo (PTC)** corresponde ao LCC formado pelas parcelas A_n
 empresa.

corresponde a despesa, e i é a taxa de juros referente ao Custo de Oportunidade da
 (Valor Atual total) de todas as parcelas A_n , onde $A_n > 0$, corresponde a receita e $A_n < 0$
 Neste caso, o **Custo de Ciclo de Vida (LCC)** do investimento corresponde ao Va

i = taxa de juros referente ao Custo de Oportunidade
 N = número de parcelas a serem somadas
 A_n = n-ésima Parcela

onde, Va = Valor Atual total equivalente a todas as parcelas

$$Va = \sum_{n=1}^N \frac{A_n}{(1+i)^n}$$

receitas:

ou, quando se têm várias parcelas envolvidas, sejam elas referentes a despesas ou

i = taxa de juros do período
 Vf = Valor da Parcela no momento da Despesa/ Receita
 Va = Valor Atual de cada Parcela do LCC

onde,

$$Va = \frac{Vf}{(1+i)}$$

Dessa forma, devemos calcular o LCC através das seguintes fórmulas:

lembrando que para toda parcela de receita obrigatoriamente $A_n > 0$, e para toda parcela de despesa $A_n < 0$. Todas as planilhas eletrônicas possuem funções automáticas para o cálculo da IRR, não sendo portanto necessário preocupar-nos com métodos de resolução de raízes de polinômios.

onde,
 Va = Valor Atual total equivalente a todas as parcelas
 A_n = n-ésima Parcela
 N = número de parcelas a serem somadas
 i = taxa de retorno intrínseca do investimento (IRR)

$$\sum_{n=1}^N \frac{A_n}{(1+i)^n} = 0$$

Na análise de viabilidade do projeto, devemos considerar o preço de venda e o reinvestimento do lucro líquido para calcularmos a taxa de retorno proporcionada por aquele projeto. A Taxa de Retorno Intrínseca sobre o Investimento é o correspondente custo de oportunidade que leva o fluxo de caixa a ser zero. Para o cálculo da Taxa de Retorno Intrínseca (IRR), devemos encontrar as raízes i que leva a seguinte equação a zero, onde i corresponderá ao IRR:

3.2.2. Retorno Sobre Investimento (IRR)

O Capítulo 7 traz um exemplo completo, onde são mostradas as planilhas de cálculo para o Custo Total do Processo.

onde,
 PTC = Custo Total do Processo
 A_n = parcelas referentes aos custos e despesas do processo
 N = número de parcelas a serem somadas
 i = taxa de juros referente ao Custo de Oportunidade

CAPÍTULO 4. MANUFATURA ENXUTA

Definições e Considerações Iniciais

Definimos **Manufatura** como sendo "toda atividade organizada aplicada à transformação de matéria bruta em produtos comercializáveis" [Wu 96]. Segundo [Askin 93], o propósito da manufatura é "enriquecer a sociedade através da produção de produtos funcionais, esteticamente atraentes, ambientalmente seguros, economicamente aceitáveis, altamente confiáveis e de alta qualidade". Ainda segundo esse autor, uma definição mais pragmática seria "atender aos anseios do cliente quanto a: função, qualidade e confiabilidade, a um custo mínimo". Ainda segundo ele, "outro propósito seria prover ganhos em empregabilidade a fim de guiar a economia", ou seja, criar empregos para incrementar o mercado consumidor e, dessa forma, fazer prosperar a economia.

A atividade de manufatura pode ser classificada basicamente em três tipos [Amstead 8ª Ed]: Produção em Massa (ou Repetitiva), Produção Moderada, e Produção por Encomenda (*job lot*). Segundo [Gessner 87], "Produção repetitiva, conforme definição da indústria atual, significa a produção de um produto que tenha um tempo de manufatura curto, um baixo custo, e um alto volume de produção". Outra definição, de [Amstead 8ª Ed.], acrescenta ao conceito: "uma peça é dita ser de produção repetitiva se é produzida continuamente, ou mesmo intermitentemente, a altos volumes, e por um considerável período de tempo". Esses autores afirmam que é comum assumir-se que produção acima de 100.000 peças por ano pode ser considerada como produção repetitiva, mas essa ainda é uma definição restrita. Na indústria de produção repetitiva, o volume de vendas é mais bem estabelecido, e os índices de produção são independentes de pedidos individuais.

Produção repetitiva, moderada e por encomenda requerem diferentes tipos de equipamentos e sistemas produtivos. Nosso estudo se concentrará no tipo de máquina dedicada a trabalhos em produção repetitiva.

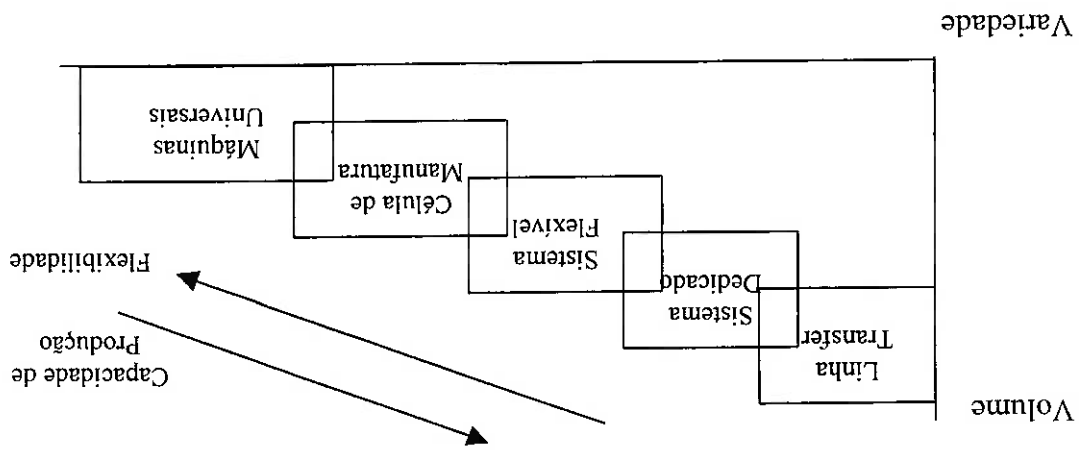


Fig. 4.1. - Aplicação dos diferentes Sistemas Produtivos

De acordo com o esquema acima retirado de [Luggen 91], os tipos de máquina ideais para trabalhos em produção repetitiva seriam as linhas Transfer e os sistemas dedicados. Ainda segundo o autor, Linhas Transfer são linhas de produção integradas onde existe a transferência automática da peça entre uma estação e outra, e cada estação foi desenhada especificamente para aquela operação a que se destina. Geralmente não existe pulmão entre as estações e caso haja quebra de uma delas a linha inteira para de funcionar. Sistemas Dedicados, assim como as linhas transfer, são aqueles formados por equipamentos desenhados especificamente para aquele tipo de aplicação, não sendo flexíveis a ponto de serem utilizados para tipos variados de peças, porém não apresentam necessariamente sistema de transferência automático entre as operações, e podem ter estoques intermediários, o que o torna mais eficiente em casos de quebras.

Atualmente, devido ao anseio do mercado consumidor por uma maior flexibilidade em atendimento às vendas - que pode ser traduzido por exigência de maior variedades de produtos com menor tempo de atendimento às encomendas - torna-se cada vez mais necessária uma maior flexibilidade da produção, mesmo para os produtos típicos de produção repetitiva (como eletrodomésticos, veículos, etc.). Com isso, percebe-se cada vez mais a tendência de utilização de máquinas flexíveis ao

invés de sistemas rígidos (dedicados). Um sistema Transfer reflete em baixo custo por peça quando se tem volumes altíssimos de produção, porém, caso seja necessária uma maior variedade de produtos produzidos ou modificações constantes nos mesmos, o custo de adaptação desse tipo de equipamento o torna inviável. O mesmo ocorre para os sistemas dedicados.

Há alguns anos atrás os sistemas flexíveis eram caros demais para serem utilizados para uma menor variabilidade de processos, e para pequenos tempos de ciclo por peça. Hoje, com a economia de escala conseguida pelos grandes fabricantes de máquinas, o custo desse tipo de equipamento caiu bastante, chegando a ficar mais baratos que a maioria dos tipos de máquinas especiais, pois são praticamente "produtos de prateleira". O desenvolvimento da tecnologia agora também permite que na maioria dos casos as máquinas flexíveis alcancem os mesmos índices de qualidade e tolerância das máquinas dedicadas. O único porém ainda é o tempo de ciclo, que, em geral, continua sendo superior ao das máquinas dedicadas.

Os custos de manutenção e disponibilidade das máquinas flexíveis também são melhores que os de máquinas dedicadas devido à comunização e padronização de seus componentes. Entende-se por comunização a utilização do mesmo tipo de componente nos vários modelos de máquina; padronização seria a utilização de componentes de prateleira, ou seja, aqueles facilmente encontrados no mercado.

Portanto, realmente apenas para altíssimos volumes, que impliquem em tempos de ciclo por peça mínimos, fica justificável a utilização de equipamentos dedicados. Um exemplo disso é a produção de pequenos componentes padronizados, como parafusos, arruelas, pregos, grampos, etc.

4.1. Produção em Massa versus Produção Enxuta

De acordo com [Agostinho 97], a evolução dos meios de produção manifestou-se sempre através do aumento de sua flexibilidade. O conceito de produção em massa teve início com as linhas de montagem introduzidas por Henry Ford (1911), e culminou no desenvolvimento da automação rígida (1950). Comparando com a Fig.4.1., foi nesse período que se desenvolveram os sistemas dedicados e linhas transfer. Esse modelo de industrialização caracterizou a época, com o chamado "American way of life", que influenciou todo o mundo ocidental. No pós-guerra, com a necessidade de reconstrução dos parques industriais europeus e japoneses, houve o desenvolvimento da chamada Automação Flexível, que propiciou em 1970 o aparecimento dos primeiros Sistemas Flexíveis de Manufatura. Surgiu também o conceito de célula de manufatura, aplicado para menores volumes de produção e maior variedade. As máquinas universais foram desenvolvidas para a indústria por encomendas, e hoje já estão sendo substituídas por sistemas flexíveis de menor porte.

Simultaneamente, na década de 70, desenvolveram-se as tecnologias de produção que vem formar a base das teorias modernas de manufatura. São elas:

■ Tecnologia de Grupo, com as técnicas de agrupamento e semelhança que permitiram a alteração dos sistemas produtivos com a formação de células de manufatura;

■ Técnicas Estatísticas e de Controle de Qualidade, como o Controle Estatístico do Processo, Controle da Qualidade Total, Projeto de Experimentos, etc.;

■ Práticas de Redução de Inventário em Processo e Controle de Produção, tais como as técnicas japonesas Kanban e Just-in-Time;

■ Técnicas e Metodologia de Engenharia Simultânea, que conta com a participação de várias atividades básicas como Manufatura, Suprimentos, Engenharia de Manufatura, Engenharia de Produto, no desenvolvimento dos novos projetos.

As teorias modernas de manufatura - manufatura ágil, manufatura holônica e manufatura enxuta têm nessas técnicas as ferramentas para a implementação de sua metodologia.

A **Manufatura Holônica**, ou Sistema Holônico de Manufatura [Fioroni 00], busca a funcionalidade e capacidade de adaptação presentes nos organismos vivos e sistemas sociais, aplicados aos sistemas de produção, através da estabilidade diante de imprevistos, adaptabilidade e flexibilidade diante das mudanças, e o uso eficiente de seus recursos. A **Manufatura Enxuta** [Womack 90], é assim chamada devido à sua preocupação em eliminar as perdas dos processos, tais como atividades sem valor agregado, inventário desnecessário, altos tempos de entrega. Vamos nos aprofundar neste conceito. A **Manufatura Ágil** [Kidd 95], se autodenomina como a combinação destes conceitos adicionando outros novos. É suportada por três recursos primários: organização e estrutura de gerenciamento inovadora, habilidades de pessoal em conhecimento e autonomia/ iniciativa de trabalho (*empowerment*), e tecnologias inteligentes e flexíveis.

O porquê dessas novas teorias de manufatura? Duas perguntas devem ser feitas: Por que essa mudança de conceitos é necessária? O que aconteceria se nada fosse mudado? As respostas podem ser obtidas através de dados reais do desenvolvimento do mercado. Vamos pegar como exemplo dados da indústria automobilística americana, um exemplo característico do tipo de produção analisada neste trabalho: alta produção, extremamente competitivo. As tabelas foram extraídas de [Ford 99].

a) Índices de Qualidade e Satisfação do Cliente:

Tab. 4.1. - Problemas/100 Veículos - Carros e Caminhões - 1997

	1997	1996
American Honda	62	77
Toyota Motor Sales	63	77
Nissan Motor Corp.	76	83
Ford Motor Co.	81	113
Volkswagen of America	91	122
General Motors	97	118
Chrysler Corp.	103	128

Esta planilha mostra a grande evolução de um ano para o outro dos índices de qualidade (no caso, defeitos a cada 100 veículos), externando a grande preocupação dessas empresas com a questão, e a grande concorrência entre elas.

Tab. 4.2. - Impacto de Problemas - 1998 - dados obtidos diretamente dos consumidores

% de clientes que:	encontraram defeito no veículo	sua satisfação foi afetada pelo defeito
Honda	31	9
Nissan	31	12
Toyota	29	13
Volkswagen	38	13
Ford	32	15
Chrysler	38	16
GM	41	18
Média da Indústria	36	15

Esta planilha tem como objetivo mostrar a queda de satisfação dos clientes devido a defeitos encontrados nos produtos. No mercado, um cliente insatisfeito significa um potencial cliente da concorrência.

b) Custo e Tempo de Produção:

Tab. 4.3. - Horas/ Veículo (Carros/ Caminhões) - 1997

Planta	Segmento	h/ veículo
Nissan Smyrna Car	Subcompactos/ Compactos	16,55
Toyota	Subcompactos	17,14
Ford	Médios	17,83
Nissan Smyrna Truck	Pick-ups pequenas	18,27
Ford	Médios	18,97
Ford	Médios, SUV, Pick-ups	19,54
Ford F-Series	Pick-ups grandes	19,98
NUMMI Truck	Pick-ups pequenas	20,10
GM Osbawa #1	Médios	20,18
Toyota	Médios	20,51

Aqui é mostrado o tempo total de produção dos veículos, nas várias plantas americanas. Esse tempo reflete custo de produção (quanto maior o tempo, maior a quantidade de horas trabalhadas) e afeta diretamente o tempo de atendimento ao consumidor. Talvez pareça pouca diferença entre uma planta e outra, mas levando-se em consideração que os veículos são fabricados em lotes econômicos (que exigem uma quantidade mínima de modelos a serem fabricados a fim de ser viável a perda de produção devida à mudança de modelo), o tempo total para o cliente ser atendido pode estender-se em alguns dias. Baseado nisso, os tempos de *setup* ou *change-over* (troca de modelo) são de extrema importância nos custos (por se tratarem de tempos improdutivos) e na flexibilidade da linha - quanto mais flexível, menores são os lotes econômicos, e menor será o tempo de atendimento ao cliente. A próxima planilha reflete estes tempos:

Temos agora respondidas as duas perguntas formuladas: A mudança de pensamento é necessária para se manter no mercado atual - altamente competitivo - e além disso apresentar a lucratividade necessária à atração dos acionistas, responsáveis pelos novos investimentos. Caso nada seja feito, em poucos anos a empresa deixará de ser competitiva, ou rentável suficiente para receber novos investimentos.

Uma observação a ser feita é que, analisando todas as planilhas, percebe-se a grande vantagem das montadoras japonesas em relação às demais nas características mostradas, que resulta hoje no seu grande avanço no mercado americano. Isso se deve em grande parte aos sistemas de manufatura implantados nessas empresas, tais como o TPM (Total Production Maintenance - sistema de manutenção e gerenciamento da produção), Just-in-Time/Kanban (sistemas de logística), Kaizen (melhoria contínua), e sistemas da qualidade. A Toyota é um grande exemplo disso, que alcança hoje altos índices de qualidade e satisfação do cliente, aliado a baixíssimos custos de produção, que lhe conferem hoje a terceira posição mundial em faturamento entre as montadoras, com planos de ser a segunda até 2005 [Toyota 99].

	Tempo Médio (min)	No. Médio de Setups/dia
Plantas Asiáticas	<10	<3,5
GM	42	0,9
Chrysler	59	1,2
Ford	114	0,7
Ford Auto Alliance	12	3,2
Ford Hermosillo	13	2,1
Ford Wayne	35	3,4

Tab. 4.4. - Tempo de Setup de Estamparia - 1998

4.1.1. Manufatura Enxuta

A manufatura enxuta, na verdade, não é nenhum conceito inovador. Trata-se apenas da aplicação regrada dos vários conceitos já conhecidos na manufatura na eliminação de desperdícios, através da redução de inventário, flexibilização da produção, disciplina e foco nos anseios do cliente, ou seja, aquilo que agrega valor ao produto, sob os olhos dos clientes. Os desperdícios, ou perdas, classificam-se em sete tipos:

- Inventário excessivo
- Transporte desnecessário de materiais
- Processos desnecessários
- Produção além do necessário
- Esperas
- Defeitos
- Movimentos desnecessários

A manufatura enxuta caracteriza-se **pela estabilização da produção**, de modo a reduzir variações no processo responsáveis por perdas em transporte, esperas, consumo de energia e custo em estoques, **fluxo contínuo de materiais**, que visa reduzir estoques, reservas e estoques intermediários, e **zero defeito**, para reduzir custos em reparo, rejeitos e reclamações do cliente. As ferramentas para sua aplicação, baseadas nas já apresentadas, serão detalhadas a seguir.

4.1.2. Ferramentas de Projeto de um Processo Enxuto

Tendo conhecimento do conceito de manufatura enxuta e de seus princípios, e dos fatores que compõem os custos do produto provenientes do processo, veremos quais ferramentas sugeridas por esta teoria, e no que cada uma delas poderá nos auxiliar na redução dos custos ainda na fase de especificação do processo, nos orientando em como proceder corretamente na especificação de um equipamento. As ferramentas sugeridas são as seguintes [Ford 99]:

a) Regras e Responsabilidades: quando se fala em projeto de um processo enxuto, a primeira coisa que deve ser observada é a aderência ao conceito, ou seja, o comprometimento de todos os envolvidos e o consequente cumprimento de todos os procedimentos e especificações previamente definidos para se atingir este objetivo. Isso implica em que estejam claramente definidas as regras a serem seguidas e as responsabilidades de cada participante do projeto. Caso isso não ocorra, não se pode garantir o cumprimento do objetivo final, que é o desenvolvimento de processos produtivos enxutos em desperdícios, e consequentemente de custo reduzido. A forma de distribuição do trabalho de engenharia também é importante para a melhoria de performance do time de projeto, quanto aos custos de projeto, tempo de desenvolvimento e qualidade do projeto.

b) Sistemas de Qualidade: o conjunto de regras a serem cumpridas e a definição das responsabilidades de cada um deve ser redigido detalhadamente, e publicado para o conhecimento de todos os envolvidos [ISO 94]. A este conjunto de procedimentos, especificações e instruções damos o nome de Sistema de Qualidade, que se materializa na forma de Manual de Qualidade. A obediência (aderência) ao sistema de qualidade deve ser verificada periodicamente através de auditorias (por órgãos internos ou externos à empresa), a fim de garantir a continuidade do sistema, e consequentemente garantir a qualidade dos processos produtivos. Existem vários sistemas padronizados de qualidade, desenvolvidos em conjunto por diferentes fabricantes de um mesmo setor, a fim de poder exigir o cumprimento de seus fornecedores de forma padronizada, mais uma vez visando a redução de custos, no cumprimento das normas. O mais famoso deles é o sistema da ISO (*International Organization for Standardization*), conhecido como ISO-9000. Este conjunto de diretrizes serviu de base para diversos outros sistemas de qualidade e da garantia da qualidade (tanto de produtos como de processos), tais como a QS-9000 (de fabricantes de automóveis e seus fornecedores produtivos), Q1 (para fornecedores de equipamentos), ISO-14000 (para sistemas ambientais), entre outros. A empresa que pretende seguir uma filosofia de projeto, seja ela qual for, deve primeiramente implantar um sistema de qualidade, na Engenharia de Manufatura ao menos. Esse sistema de qualidade materializa-se na forma de um manual de

qualidade, que contém todos os procedimentos e documentações que deverão ser utilizados no desenvolvimento de um novo projeto. Sem isso, não há como garantir a continuidade da filosofia na empresa, e logo todo o conhecimento acumulado será perdido.

c) Análise de Contratos: a análise de contratos é uma das principais ferramentas na implantação de uma metodologia de projeto enxuto, pois é ela que vai garantir legalmente o cumprimento das responsabilidades dos fornecedores de equipamentos, ou seja, vai garantir que o produto/ equipamento comprado vai atender às especificações de qualidade e performance firmadas no ato da compra, e pelas quais o cliente pagou. Além disso, a análise de contrato estabelece os padrões a serem seguidos na análise das cotações dos vários fornecedores daquele equipamento, a fim de garantir o atendimento a todas as especificações, e eliminando decisões subjetivas que podem levar a erros na escolha do melhor fornecedor, ou seja, aquele que nos trará o menor custo de ciclo de vida sem deixar de atender as especificações de qualidade exigidas.

Podemos definir então a Análise de Contratos como sendo o conjunto de normas que esclarecem como devem ser feitas a especificação da compra, a escolha do melhor fornecedor, e o contrato de compra, deixando claro o que vai ser comprado e como será feita a comparação entre as fontes, e quais os indicadores utilizados para auditar o cumprimento das especificações ao longo do período de garantia do equipamento. Este item será melhor detalhado mais adiante, na especificação do equipamento.

d) Confiabilidade & Manutenibilidade - (R&M - Reliability & Maintainability): de acordo com [O'Connor 85] a teoria de R&M teve seu desenvolvimento final na década de 70, apesar de ainda hoje em dia ser pouco utilizada pela indústria civil. Sua maior utilização hoje é na indústria aeronáutica, devido à criticidade de seus produtos, e é onde teve seu maior desenvolvimento. A parte da teoria que mais nos interessará aqui são as diretrizes de cálculo dos índices de disponibilidade do equipamento ou produto, e o quão fácil é a sua manutenção quando da sua falha. A confiabilidade do equipamento é expressa através do indicador $R(t)$, que representa qual a probabilidade do equipamento estar disponível à produção (ou seja,

funcionando) em determinado momento da sua vida útil, e sob determinadas condições. A confiabilidade é portanto função do tempo, tendendo à diminuição na medida em que se aproxima do fim de sua vida útil.

Podemos definir **Confiabilidade R(t)** como sendo "a medida da habilidade de um produto operar com sucesso, quando solicitado, por um período de tempo pré-determinado, e sob condições ambientais específicas. É medida como uma probabilidade." (*European Organization for Quality Control - 1965*) e (BS4778).

A **Mantenabilidade** está associada ao tempo necessário para executar um reparo em manutenção corretiva, e pode ser definida como "a medida da habilidade de um item, sob determinadas condições de uso, de conservar, ou ser restituído a, o estado em que ele pode executar suas funções requeridas, quando a manutenção é realizada sob determinadas condições e usando procedimentos e recursos previamente descritos" - (BS4778). É representado pelo Tempo Médio para Reparo (MTTR - *mean time to repair*)

A junção dos dois conceitos resulta no termo **Disponibilidade A(t)**, que representa a porcentagem de tempo em que o equipamento está disponível a produzir, ou seja, total de horas de produção programadas, menos horas de máquina quebrada, dividido pelo total de horas de produção programadas. É definida como sendo "a medida da habilidade de um item (sob aspectos combinados de confiabilidade, manutenabilidade e suporte em manutenção) de executar suas funções requeridas em um determinado instante da sua vida útil ou durante um determinado período de tempo" (BS4778).

Outro aspecto de nosso interesse é o estudo da Confiabilidade de Projeto da máquina. Apesar de ser uma questão muito difícil de ser conduzida junto aos fabricantes de máquina devido a segredos construídos que não possam ser revelados, esta é a prova de que o Engenheiro de Processos precisa para ter certeza de que a máquina realmente terá a confiabilidade declarada na oferta de venda.

A função Confiabilidade R(t) de um componente de máquina pode ser representada através de uma distribuição de Weibull:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta}}$$

onde, R(t) = Confiabilidade do componente no instante t

to = instante inicial da vida
 β = indica o tipo de falha
 η = constante

onde, quando temos $\beta < 1$, significa que o componente apresenta falhas do tipo "mortalidade infantil", ou seja, probabilidade decrescente de falha com o correr do tempo. Neste caso, a manutenção preventiva é prejudicial, pois quanto mais novo o componente trocado, maior a probabilidade dele falhar. Este é o caso, por exemplo, de certos componentes eletrônicos.

Quando $\beta = 1$, temos tipo de falha aleatória, ou seja, neste caso a manutenção preventiva é inútil pois a probabilidade da falha é constante ao longo do tempo. Um exemplo de tipo de componente com falha aleatória é de alguns componentes elétricos, como lâmpadas.

No último caso, quando $\beta > 1$, a probabilidade de falha cresce com o tempo. Este é o caso indicado para a manutenção preventiva. Quanto maior o β , mais abrupto é o crescimento da probabilidade de falha, portanto, mais fácil é de programar sua manutenção preventiva. Nesses casos também pode ser aplicada a manutenção preditiva, ou seja, aquela que busca prever o acontecimento de uma falha através de medições de certas características, tais como temperatura e vibração. É essa previsão que nos dirá quando deverá ser feita a troca do componente, em manutenção preventiva. Componentes mecânicos têm essa característica de crescimento de probabilidade de falha, como por exemplo falha por desgaste.

Para $\beta = 3,44$ a distribuição torna-se praticamente uma distribuição normal.

A situação ideal seria o fornecedor da máquina dar detalhes a respeito do cálculo dos componentes em termos da distribuição da probabilidade acumulada de falha (1- $R(t)$), ou da própria confiabilidade $R(t)$. Uma vez que isso, como já comentado, ainda é muito difícil de se conseguir na prática, então parte-se para a utilização dos índices MTBF e MTRR, que podem ser mais facilmente obtidos através de medições das taxas de falha das máquinas semelhantes que estejam em operação. O único problema seria garantir que o tipo de utilização das máquinas observadas é o mesmo da máquina a ser fornecida, para que os dados colhidos sejam consistentes.

Outra exigência que deve ser feita, a fim de garantir a confiabilidade da máquina, é requisitar a análise de modo e efeito de falhas (FMEA), e a árvore de falhas (FTA) de projeto do equipamento.

No Apêndice I encontra-se um exemplo de análise de confiabilidade de um centro de usinagem flexível.

e) Automação: a Automação a que nos referimos significa o controle automático (em tempo real) das operações de manufatura, e não necessariamente que a operação seja automática (sem operador). Quando temos controle do que está acontecendo em determinada operação temos a possibilidade de agir imediatamente quando algo anormal ocorre, como por exemplo quando ocorre uma falha no equipamento, ou quando uma dimensão da peça começa a sair da especificação, ou ainda o estoque de peças na entrada da operação está menor que o esperado. Agindo rapidamente reduzimos o risco de gerar perdas no processo, como máquina parada ou refugos de qualidade.

f) Auxílios Visuais: são indicações visuais colocadas no processo para facilitar o trabalho do operador e da manutenção, tais como níveis de estoque, identificação de botões e comandos, faixa de trabalho em instrumentos (como manômetros), setas indicando sentido de fluxo de fluidos ou mesmo peças, marcação de regulagem de máquina, identificação de tensão em cabos elétricos pela cor, identificação de partes móveis da máquina, entre outros. São soluções muito simples, de custo quase nulo, mas que ajudam em muito o trabalho na fábrica e evitam vários tipos de perdas ou acidentes.

g) Dispositivos à prova de erro: outro conceito de automação é o “zero defeito”, ou seja, evitar que sejam cometidos erros. Este conceito veio da Toyota, na década de 40, nas fábricas de tecido, onde eram implantados dispositivos que paravam os teares quando o fio se partia, evitando assim que fosse produzido tecido com defeito. O conceito se expandiu, e hoje é amplamente aplicado na indústria automobilística japonesa. Nada mais é que um sistema simples, de baixo custo em geral, que impeça

j) Layout Enxuto: o layout do chão de fábrica afeta em muito o fluxo de materiais dentro da empresa. Fazê-lo de forma planejada e flexível vem contribuir também para a redução dos custos de produção. O espaço entre as máquinas deve ser o mínimo necessário para a sua operação e manutenção, reduzindo assim movimentações desnecessárias e custo de ocupação do terreno. Existem várias técnicas de se fazer um layout, levando-se em consideração o tipo de produção (em massa, por encomenda), volume de produção, eficiência global das máquinas (pode

i) Fluxo de Materiais: a movimentação de materiais dentro da fábrica representa uma grande perda de tempo e custo. Planejar uma linha de fabricação de forma a se ter apenas os estoques intermediários estritamente necessários, com as menores distâncias de movimentação possíveis, com entrada e saída da peça na máquina o mais próximas e alinhadas possíveis, e com sequência de fabricação tipo primeiro-que-entra/primeiro-que-sai (FIFO - *First In, First Out*), são exemplos de ações que vêm reduzir o custo de movimentação dentro da empresa.

h) Troca rápida: o tempo de setup de máquinas tem grande influência na performance da linha de fabricação, principalmente quando existe uma variedade muito grande de produtos manufaturados numa mesma linha. Por isso é conveniente que as máquinas sejam projetadas para que o tempo de troca de ferramentas, dispositivos ou mesmo peças de reposição seja o menor possível. Por exemplo: usar mangueiras hidráulicas com engate rápido ao invés de tubulação, poucos pontos de fixação de carenagem da máquina, com uso de grampos ao invés de parafusos, olhais de içamento em dispositivos de maior peso, etc.

g) Manufatura enxuta: a fabricação de uma peça defetiva, como por exemplo: peças que só podem ser encaixadas de uma forma, evitando montagens invertidas, checagem automática 100% tipo passa/não-passa, etc. A máquina, assim como o produto a ser manufaturado, devem ser projetados já com esse conceito, pois dessa forma fica muito mais barata a sua implementação.

Outra ferramenta importante para um processo enxuto é a **Teoria Seis-Sigma (6σ)**, que tem se disseminado com sucesso a nível mundial por proporcionar significativas reduções nas perdas por má qualidade dos produtos, através do controle dos parâmetros de processo e dos fatores que os afetam.

Ela se baseia em uma metodologia de trabalho (DMAIC) composta pelas fases de **Definição** do problema, **Medição** das características do produto e do processo, **Análise** dos resultados, implantação da melhoria (**Improvement**), e **Controle** do processo. A teoria utiliza ferramentas estatísticas para o tratamento dos dados do processo, como o conceito de *Capabilidade* das operações, ou seja, na precisão do processo e na capacidade de *Repetibilidade* do mesmo. Ter um processo 6-sigma significa que este processo é capaz de produzir aquela característica dentro de suas especificações, com um índice de refugo de 3,4 peças por milhão produzidas [Dieter 00]. Esse índice de refugos parece ser exagerado, principalmente se considerarmos

4.1.3. Teoria Seis-Sigma

k) Material Industrial: o consumo de materiais industriais (ou consumíveis, não produtivos) e utilidades (água, energia, gases, ar comprimido, etc.) representa um alto custo de fabricação nas empresas, e seu consumo deve ser planejado para ser o menor possível. Citando alguns exemplos: a produção de resíduos, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos (como por exemplo névoa de água ou poeira) devem ser evitados, ou pelo menos controlados, pois além de representarem um custo de descarte, também acarretam em custos de limpeza do ambiente. O consumo de energia também deve ser reduzido, com as máquinas sendo construídas com sistemas de regeneração de energia (como acumuladores hidráulicos), além de sistemas de baixo consumo (como eletrônicos e de baixa tensão).

evitar máquinas que exijam fundações ou valas.

layout mais flexível pode vir a reduzir custos de futuros projetos - assim, deve-se evitar maiores estoques intermediários), tamanho dos lotes de produção, tipo de processo (contínuo, em lote), proximidade de fontes de alimentação (energia, materiais), número de máquinas por operador, tempo de ciclo, etc. Além disso, um

nossa intuição, que é comum nos levar a dizer que 99% de acerto é o razoável. Porém, se observarmos a tabela abaixo, (extrada de [Ford 99b], considerando dados da sociedade norte-americana) com a descrição de alguns processos bem comuns, veremos que nem sempre 99% de acerto é o ideal:

Tab. 4.5. – Visão Clássica de Performance

Significado Prático de “99% bom”	
•	20.000 artigos de correio perdidos, por hora
•	15 minutos por dia de água não potável no sistema de fornecimento público
•	5.000 intervenções cirúrgicas incorretas por semana
•	2 falhas por dia em aterrissagens de aeronaves, nos maiores aeroportos
•	200.000 prescrições erradas de medicamentos, por ano
•	7 horas por mês de falha no fornecimento de eletricidade

A proposta dessa teoria é primeiramente definir claramente qual o problema reclamado pelo cliente, e identificar quais os parâmetros de produção que provocam a desestabilização do processo, responsável pelas falhas de qualidade geradoras do problema. Para isso, a teoria conta com diversas ferramentas de resolução de problemas, tais como matriz de causa & efeito (correlaciona as causas e os efeitos no processo), FMEA (análise de modos de falha), árvore de falhas, DOE (projeto de experimentos), e outros. A seguir, a teoria faz uma medição da variação dos parâmetros, correlacionando estes valores com o aparecimento do problema. Confirmada a causa do problema, a teoria busca a solução, através do envolvimento de todos os responsáveis, e implementa as correções no processo necessárias. A última fase é a fase de confirmação da estabilidade do processo, onde são realizadas medições daqueles parâmetros de forma a ter certeza de que o problema foi sanado, e que os controles implementados no processo são efetivos.

Essa teoria é fortemente baseada nas probabilidades estatísticas de ocorrência de falhas, o que mede a estabilidade dos processos. Essa estabilidade é definida numericamente pelo estudo da distribuição estatística do parâmetro analisado: através de medições, define-se a distribuição normal da característica, e compara-se o

valor de seu desvio-padrão com o tamanho da tolerância especificada para aquela característica. Ter um processo 6-sigma significa que o processo produz a característica centrada dentro da tolerância e com dispersão tal que possui 6 desvios-padrão de cada lado da especificação, ou seja, no total, 12 desvios-padrão contidos dentro da tolerância. Quando a tolerância é unilateral, ou o parâmetro não pode ser medido continuamente e sim por atributo (tipo passa/não-passa), então analisamos simplesmente o índice de falhas, que deve ser de no máximo 3,4 por milhão.

As figuras a seguir facilitam o entendimento:

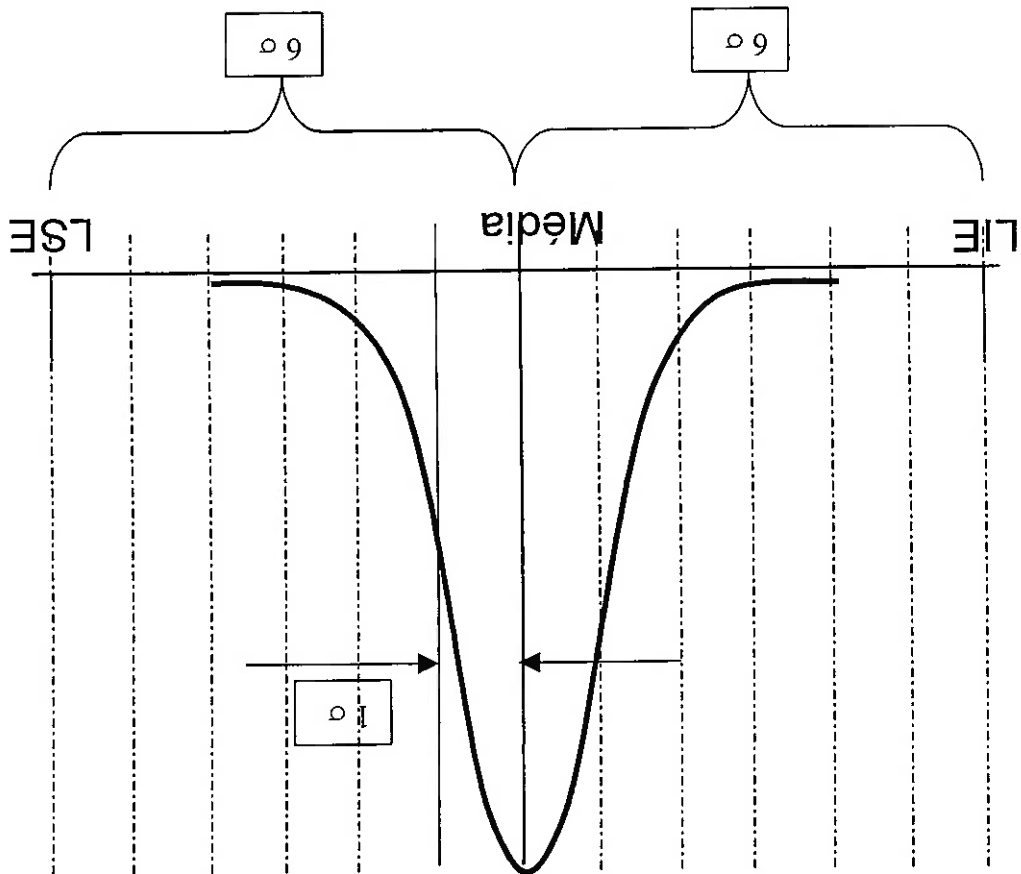


Fig. 4.2. - Distribuição normal de um processo 6-Sigma

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Os índices são calculados da seguinte forma:

QS-9000.

Uma observação a ser feita sobre a nomenclatura dos índices: Cp e Cpk são definidos como índices de curto prazo, e Pp e Ppk como de longo prazo, pela Teoria 6-Sigma. Já a nomenclatura definida pela norma QS-9000 é Pp e Ppk para curto prazo e Cp e Cpk para longo prazo. Qualquer que seja a nomenclatura usada, a teoria é a mesma. Usaremos aqui a nomenclatura utilizada por [Dieter 00], semelhante à usada pela

em si, sem a influência de fatores externos.

realizadas em regime de "curto prazo", para que seja avaliada apenas a máquina produzida esta centrada dentro da tolerância especificada. As medições devem ser e Cpk é a Capacidade de Desempenho do Processo, que expressa se a característica do Processo, que nos diz se o processo tem precisão suficiente para realizar a operação, mesmos através dos índices Cp e Cpk, onde Cp é a Capacidade Potencial do Para a especificação de equipamentos, definimos o nível de capacidade dos variações têm influência.

As medições podem ser realizadas a regime de "curto prazo", ou seja, dentro de um período onde não há a influência da variação de fatores externos ao processo (condições atmosféricas, operador, ferramenta, etc.), ou a "longo prazo", onde estas

Rejeitos em partes por milhão (PPM - longo prazo)	Nível Sigma	Cp, Cpk (curto prazo)	(longo prazo - Cp, Cpk deslocado de 1 a 1,5σ)
308.537	2	0,67	
66.807	3	1,00	
6.210	4	1,33	1,00
233	5	1,67	1,33
3,4	6	2,00	1,50

Tab. 4.6. - Níveis Sigma e seus Índices de Rejeitos

O valor de Cp e Cpk a ser pedido na especificação do equipamento depende da natureza do processo produtivo, da importância daquela característica para o cliente, da tolerância em si e do custo resultante daquele índice (quanto maior a precisão do equipamento, maior o seu custo), como visto na tab. 4.6.

onde,

Cpk = Capacidade de Desempenho do Processo

$Cpk1$ = Capacidade de Desempenho do lado da tolerância superior

Cpk = Capacidade de Desempenho do lado da tolerância inferior

LSE = Limite Superior de Engenharia (máximo da tolerância)

LIE = Limite Inferior de Engenharia (mínimo da tolerância)

σ = desvio padrão da distribuição

μ = média da distribuição

$$Cpk = \min(Cpk1, Cpk2)$$

$$Cpk1 = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad Cpk2 = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$$

e ainda

onde,

Cp = Capacidade Potencial do Processo

LSE = Limite Superior de Engenharia (máximo da tolerância)

LIE = Limite Inferior de Engenharia (mínimo da tolerância)

σ = desvio padrão da distribuição

4.2. Engenharia de Processos de Manufatura

O Engenheiro de Processo de Manufatura precisa ter em mente que ele é o maior responsável pela performance da produção e de seus custos, mesmo antes da linha de fabricação existir. Tudo se inicia no momento em que ele planeja a linha de fabricação: qual será o processo, quais os controles, quais os equipamentos, como será o layout, quantos operadores, etc. Na hora em que for iniciar as cotações dos equipamentos, sejam eles novos ou reformas de existentes, ele deve saber exatamente do que vai precisar, de forma a saber exigir do fornecedor todas as características de que realmente precisa. Se deixar de pedir algo, a produção irá sofrer as consequências, com aumento dos custos de produção devido à queda de performance da linha. Se pedir algo desnecessário, os custos serão maiores, o que acarreta em maior custo da produção devido ao aumento da parcela de amortização dos investimentos no custo total do produto.

O objetivo dessa seção é definir as fronteiras do trabalho do Engenheiro de Processo, apresentando os detalhes de projeto que ele deve focar com o intuito de reduzir o Custo Total de Ciclo de Vida do produto a ser manufaturado.

4.2.1. Abrangência

No projeto de um novo processo de manufatura, o Engenheiro deve ter em mãos os seguintes dados:

a) Desenhos e especificações do produto a ser manufaturado - é desses documentos que o Engenheiro retira as principais informações para definir qual o processo a ser usado na fabricação do produto, baseado nas características do mesmo e nas tolerâncias exigidas. Exemplo: se a característica da peça é de um sólido de revolução (um eixo, engrenagem, flange, bucha, etc.) os prováveis processos de usinagem seriam o torneamento e a retífica. Caso a peça seja completamente assimétrica, com diferentes tipos de usinagem (faces, furos, roscas, perfis complexos, etc.), pode-se utilizar de um centro de usinagem. Caso as tolerâncias estejam abaixo de centésimos de milímetro, talvez uma retífica, um superacabamento, ou um

brunimento sejam recomendados. No caso de um processo de montagem, as tolerâncias de montagem podem exigir um simples encaixe, uma prensagem com ou sem controle de força, uma prensagem com pré-aquecimento ou congelamento das peças, etc.

b) Utilidade e modo de funcionamento do produto - embora geralmente traduzidas em termos de especificações de produto, essas características merecem atenção especial do Engenheiro: dependendo de como será usado o produto, certos cuidados na sua manufatura devem ser tomados, como por exemplo: produtos para indústria alimentícia, química e farmacêutica não devem conter produtos voláteis, resíduos, partes de fácil oxidação, campos magnéticos ou componentes que possam reagir quimicamente com outras substâncias durante seu uso. Processos de usinagem podem magnetizar peças; soldagens podem modificar a estrutura do material tornando-o susceptível a oxidações e trincas; certos fluidos de corte, refrigerantes, lubrificantes, óleos hidráulicos e de tratamento térmico podem contaminar as peças, ou atacá-las quimicamente.

c) Volume de produção, flexibilidade da linha e padrão de trabalho - o volume de produção e a flexibilidade para produzir diferentes modelos de produto têm grande importância na escolha do tipo de equipamento a ser usado. Para grandes volumes e baixa flexibilidade, máquinas automáticas e dedicadas são mais indicadas, pois é exigido um tempo de ciclo de fabricação mais reduzido. O padrão de trabalho, ou quantidade de horas diárias e de dias por ano disponíveis para a produção é o outro fator que definirá o tempo de ciclo de fabricação da peça.

d) Níveis de qualidade - os níveis de qualidade, ou índice de defeitos tolerado pelo cliente, é definido a partir do tipo de produto e utilização do mesmo. Por exemplo: o índice tolerável de certos tipos de defeito em aeronaves é nulo, pois podem representar a queda da mesma e a consequente perda de vidas humanas. Já a falha de um palito de fósforo pode nem ser percebida pelo cliente, que tem dezenas de outros palitos à sua disposição. O índice de defeitos pode ser expresso em porcentagem ou em partes por milhão (ppm), considerando produtos de produção seriada. Esse índice, ou porcentagem de defeitos, resulta em uma relação entre o tamanho da tolerância (limites de engenharia) da característica observada, e o tamanho do desvio padrão da sua distribuição normal.

A resultante da relação é o desvio padrão aceitável pelo processo, com o qual poderemos definir o tipo de processo capaz de produzir a característica dentro da tolerância especificada, e com aquele índice de qualidade considerado aceitável. Controles podem ser necessários para a garantia da qualidade das peças produzidas. Ferramentas de Projeto de um Processo Enxuto, na Teoria 6-Sigma, deste mesmo capítulo.

Outro fator ligado à não aceitação de defeitos é a possibilidade deles ocasionarem acidentes aos usuários do produto. Nesses casos, controles devem ser adicionados ao processo para impedir que uma peça defeituosa chegue ao cliente, independente da qualidade do processo produtivo.

e) Ambiente da fábrica - o ambiente de produção é também importantíssimo na seleção do tipo de processo e de equipamento. Na usinagem de precisão, aquecimentos podem causar dilatações nos equipamentos e peças, causando perda das tolerâncias. A presença de vibração, umidade e partículas em suspensão também podem afetar a qualidade do processo. Às vezes são necessários enclausuramentos das operações, para controle da atmosfera e da temperatura. Fundações também podem ser necessárias para o amortecimento de vibrações.

f) Espaço disponível - o layout da fábrica é de grande importância na determinação da eficiência do processo. Operações muito afastadas podem exigir transporte de peças, resultando em estoque interno e perdas por danos no transporte. O número de operadores também é afetado pela distância entre as máquinas. Espaços muito pequenos podem não comportar máquinas de maior porte.

g) Tempo e mão-de-obra disponíveis para manutenção - o tempo e a mão-de-obra disponíveis indicarão o quanto as máquinas poderão quebrar ou exigir manutenção preventiva e preditiva. Uma máquina que quebre muito exige uma manutenção mais constante, que ocupa horas do operador e do pessoal de manutenção, reduzindo sua disponibilidade para produzir, e aumentando seus custos indiretos. Os índices de disponibilidade da máquina devem ser definidos junto à manutenção, e exigidos na compra dos equipamentos.

h) Verba disponível para investimento - o Engenheiro pode especificar um processo ideal, com máquinas superconfiáveis, de alta precisão, controles necessários, etc,

porém, ele deve adequar o processo à verba disponível para investimento. Dentro desses limites ele deve buscar as opções que trarão maior retorno para o processo, em termos de Custo Total do Processo.

Com esses dados de entrada, o Engenheiro terá condições de especificar, em linhas gerais, quais os processos a serem utilizados e o que deverá estar previsto nos equipamentos. Agora, ele deverá estudar a relação entre as operações, a fim de otimizar o fluxo da produção, reduzir movimentações internas, projetar os estoques intermediários, otimizar a utilização da mão-de-obra, e tudo o mais que afetar o rendimento da linha, e consequentemente o Custo Total do Processo.

Essa análise é feita com maior confiabilidade através de simulações em computador, utilizando para isso dados reais e a experiência adquirida em processos anteriores, principalmente do pessoal de chão de fábrica, porém nada impede que a análise seja feita manualmente.

4.2.2. Projeto de um Processo Produtivo

A escolha do processo de fabricação e do novo equipamento deve ser feita pelo Engenheiro de Processo, levando em conta as necessidades de projeto quanto aos custos de aquisição e de produção, para definir quais as características e acessórios serão necessários nos equipamentos, ou as que são economicamente interessantes. De acordo com a prática, deve-se observar no desenvolvimento de um processo:

- prazo de implementação
- curva de volume de produção
- tempo de ciclo por peça requerido
- mix de produtos (número de diferentes tipos de produtos a serem produzidos na mesma linha)
- flexibilidade da linha em termos de volume e mix de produtos
- utilização de equipamentos existentes, em uso ou não
- complexidade de processos da linha de fabricação,

■ número de operações diferentes,

■ tolerâncias de fabricação requeridas pelo desenho do produto

■ capacidade potencial e de desempenho de qualidade requeridos

■ confiabilidade e manutenibilidade dos equipamentos (R&M)

■ existência de impacto ambiental, social ou econômico no caso de acidentes.

parada de produção, ou peças fora de especificação

■ espaço físico e condições ambientais para instalação das máquinas

■ falta de mão de obra qualificada na Engenharia para suprir o acompanhamento da

compra de determinados processos

Cada vez mais as empresas se utilizam de técnicas de simulação para definição de

qual o melhor processo, em termos de performance global, frente às restrições

apresentadas acima. Nessas simulações é possível determinar qual a disponibilidade

requerida para cada tipo de equipamento, assim como tempo de setup e para

manutenção preventiva e corretiva.

O projeto de um novo processo produtivo pode ser realizado de inúmeras maneiras.

Vamos aqui definir uma delas para compreensão dos fatores de projeto que terão

influência sobre o custo do processo.

A seguir é apresentado uma sugestão de sequência de projeto, que segue a

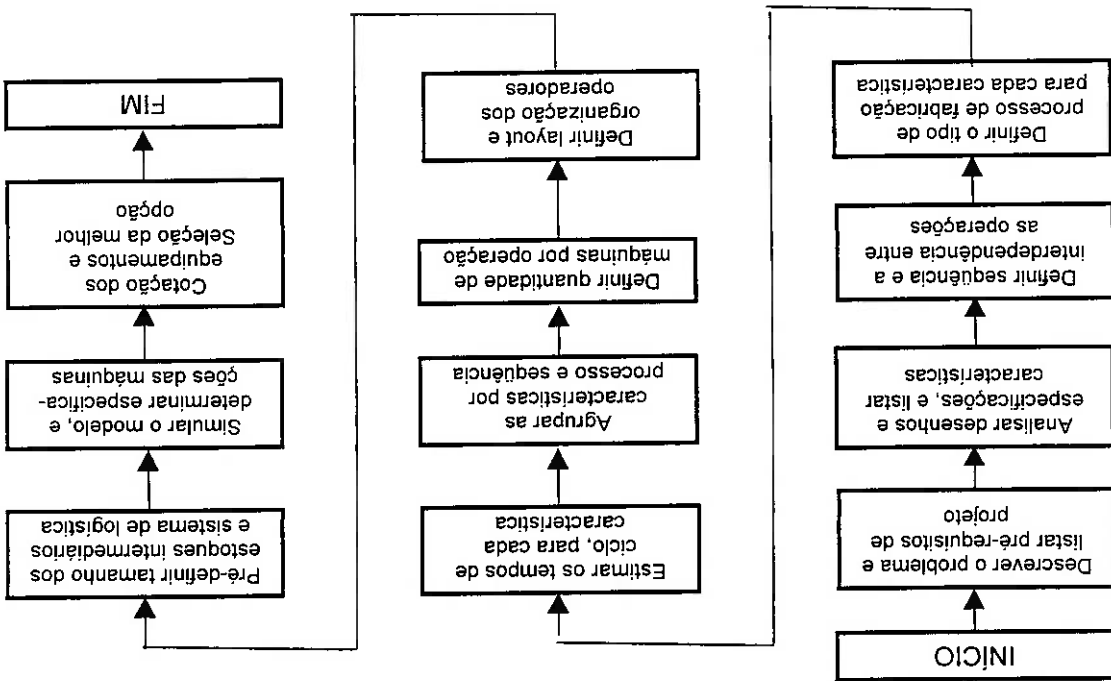
metodologia de projeto apresentada, representado esquematicamente pelo

fluxograma da fig. 4.3.

Vamos em seguida detalhar cada etapa do projeto.

- a) Descrição do problema e pré-requisitos de projeto: Antes de ser iniciado o projeto, deve ser feita a descrição detalhada do trabalho a ser feito. Isso compreende os seguintes itens:
- Descrição detalhada do produto - descrever qual o produto a ser manufaturado, quais as especificações do mesmo, quem serão os potenciais fornecedores de componentes, etc.
 - Volume de produção planejado.
 - Clientes - quem serão, onde estarão localizados, tamanho dos lotes de entrega, necessidade de fornecimento de protótipos avançados, etc.
 - Padrão de trabalho - quantidade de dias trabalhados por ano, horas por dia, número de turnos, tempo disponível para manutenção, etc.
 - Datas de implementação - datas requeridas para instalação da linha de produção, início de funcionamento, datas de protótipos, etc.
 - Tempo de ciclo de fabricação - é função do volume requerido e do padrão de trabalho.

Fig. 4.3. - Fluxo de um Projeto de um Processo Produtivo



peça. e ao mesmo tempo garantir que esta não se mova ou sofra alguma garantir o acesso da ferramenta da máquina (seja de usinagem ou de montagem) à produto nas máquinas (localização e fixação) devem ser pensadas de modo a importantes para o sucesso do novo processo de fabricação. As fixações do processo. Essa interdependência entre características são extremamente referências exigidas pelo desenho e necessárias para assegurar as tolerâncias no outra). As características devem ser listadas e sequenciadas, de acordo com as entre elas (quando temos uma característica como referência de fabricação para a ■ Definir a sequência de fabricação das características, em função da inter-relação da peça bruta, testes requeridos, condições de armazenamento, etc.

ou outras instruções especiais, referências de usinagem, sobremetas, dimensões térmico ou químico, acabamentos superficiais, pintura, instruções de montagem informações necessárias à sua fabricação: dimensões, tolerâncias, tratamento analisar os desenhos dos produtos a serem produzidos e extrair destes todas as características a serem produzidas pelo novo processo - o Engenheiro deve agora ■ Analisar desenhos e especificações, fazendo o levantamento de todas as

definição de como será o processo, isto é:

b) Definição do processo de fabricação: nessa fase, o Engenheiro deve fazer a e até inviabilizar o processo.

deve ser feito pode elevar em muito os custos do projeto, causar atrasos irreparáveis com o cliente a fim de se evitar mal-entendidos, pois um erro na descrição do que Essa fase é a mais importante do estudo, devendo inclusive ser feita em conjunto

etc.

mercado, valores máximos de investimento, custo de oportunidade da empresa, mão de obra existente, acordos sindicais, questões ambientais, características de ■ Outros itens que se fizerem importantes para o projeto, como aproveitamento de defetuosas por milhão, ou em porcentagem.

qualidade aceitáveis do ponto de vista do cliente; pode ser expresso em partes ■ Índices de aceitação de qualidade - devem ser especificados os índices de

deformação durante o processo. Além disso, a centralização da usinagem na peça bruta também deve ser garantida, para que não falte material de nenhum lado da

peça, na hora de usar.

■ Definir os processos de fabricação das características - listadas as características, definidas suas tolerâncias e sabendo suas referências, pode-se agora definir qual o melhor processo de fabricação para cada uma delas. Cada tipo de processo caracteriza-se por uma faixa de tolerância de trabalho, por uma capacidade de remoção de material, por uma faixa de acabamento superficial alcançado e por uma velocidade de processo. Existem inúmeras tabelas sugerindo faixas de trabalho para cada tipo de processo, porém deve ser respeitada a experiência do Engenheiro, e os fabricantes de máquinas devem ser consultados, pois as novas tecnologias em máquinas e ferramentas nos permitem simplificar em muito os processos de fabricação. Um exemplo disso é o *hard turning* (torneamento de material tratado), que é o torneamento da peça após ser endurecida por tratamento térmico, com ferramentas especiais (cerâmicas ou diamantadas), em substituição ao processo de retífica, muito mais caro e demorado. Tudo é questão de volume a ser produzido, tolerâncias desejadas, capacidade do processo, custo das operações, comunização de processos com outras características, entre outros.

■ Estimar tempos de fabricação para cada uma das características - de acordo com as velocidades de avanço, profundidades de corte, rotações, forças de prensagem, torques de parafusamento, trajetórias, tempos e demais características especificadas pelos fabricantes de máquinas e ferramentas, ou pela experiência do Engenheiro, devem ser estimados os tempos de fabricação de cada característica.

■ Agrupar em blocos as características que podem ser produzidas em conjunto, seguindo um mesmo processo produtivo - Essas características deverão ser agrupadas de acordo com o tipo de processo: torneamento, fresamento, retífica, prensagem, soldagem, etc.

■ Fazer um levantamento dos tipos de equipamentos oferecidos pelo mercado, e definir a quantidade de máquinas necessárias para cada tipo de processo, para cada proposta de tipo de equipamento. Após isso, devem ser somados os tempos totais de processo de cada um desses grupos. Esses totais de tempos (incluindo tempos de carga e descarga), divididos pelo tempo de fabricação por peça definido

pelo cliente (*takt time* - tempo tacto, que é o quociente entre o total de horas trabalhadas e o volume requerido), resultam no número de máquinas necessárias a aquela operação. Por exemplo:

- Volume de produção requerido: **500.000 peças/ ano**
- horas trabalhadas no ano: **5.000 h/ ano**
- takt time: $(5.000 \text{ h/ ano}) / (500.000 \text{ pcs/ ano}) = 0,01 \text{ h/ pça} = 36 \text{ s/ pça}$
- tempo total de torneamento = 87 s (equivalente à soma dos tempos de fabricação de todas as características produzidas por aquele processo)
- tempo de carga/descarga = 5 s
- número de máquinas requeridas $n: (87 \text{ s} + 5 \text{ s} * n) / 36 \text{ s} = n \rightarrow n = 2,8$

portanto, serão necessárias **3 máquinas** para se fazer a operação.

Uma observação a ser feita, é que os tempos de fabricação devem ser estimados levando-se em conta parâmetros de fabricação otimizados, isto é, aqueles que tornam o custo da operação o mais baixo possível, considerando tempos e custos de ferramenta e afiação.

c) Arranjo Físico e Parâmetros do Processo: devem ser seguidos os seguintes passos:

- Preparação do Layout de Blocos das várias propostas - uma vez identificadas as várias possibilidades de processos e tipos de equipamentos, faz-se a preparação do arranjo físico (layout) esquemático das operações, para cada uma das propostas. Isto é, um layout simbolizado por blocos que tem a função de definir a sequência das operações e fluxo das peças dentro do processo.
- Simulação inicial em computador para definição do fluxo de peças dentro do processo, e da entrega de componentes nas linhas de fabricação (lógica). A simulação testa as várias propostas de processo, o que auxiliara na escolha da melhor opção.
- Definição da organização dos operadores e tipos de alimentação de máquinas - o tipo de máquinas (automática, automática com alimentação manual, ou manual), o tempo de ciclo das mesmas, e a sua disposição na fábrica definem a quantidade de operadores necessários para sua operação e a sua organização dentro da linha.

d) determinar especificações das máquinas: Este tópico será apresentado mais adiante, na Metodologia Proposta, com base nos itens anteriores.

Layout do processo - a próxima etapa é estudar qual o melhor layout (disposição física das máquinas) para a linha de fabricação, levando em conta a necessidade de espaço para estoques intermediários, preparação para futuras expansões, proximidade das máquinas para redução de movimentação de peças e operadores, fluxo das peças dentro da linha, etc. Nessa fase, ainda não pode ser definida com detalhes a posição das máquinas, pois estas ainda não foram escolhidas no mercado. Trata-se de um layout de conceito, com dimensões aproximadas, apenas para estimativa das distâncias percorridas.

■ Simulação do processo e cálculo da capacidade líquida requerida - essa simulação em computador visa definir o tamanho dos estoques intermediários de peças no processo, distâncias percorridas, testar a disposição dos operadores, e determinar os valores ideais de tempos de ciclo de cada equipamento, e estimar quais devem ser as taxas de qualidade e disponibilidade dos mesmos. O tamanho dos estoques intermediários é função, principalmente, dos tempos de ciclos das várias máquinas, do tempo e distância de movimentação das peças entre elas, e do rendimento das mesmas, representado pela sua taxa de quebras (disponibilidade). Existem algumas teorias para o cálculo estatístico do tamanho dos estoques, que se baseiam na distribuição estatística dos tempos acima, como a sugerida por [Askin], mas o porém é que estas teorias não são facilmente aplicáveis a linhas de fabricação com três ou mais máquinas. Nestes casos, o autor recomenda o uso de ferramentas computacionais de simulação do funcionamento da linha. Com a simulação, pode-se refinar o projeto do layout da fábrica, determinando com maior precisão as distâncias percorridas, as velocidades ideais de movimentação, e as rotas de peças e operadores. Consegue-se, dependendo da necessidade, detalhar taxas de falhas das máquinas e tempos de reparo das mesmas. Com isso, define-se o valor aceitável da Disponibilidade de cada uma das máquinas, que deverá ser exigido na especificação dos equipamentos. A frequência e as rotas a serem seguidas na logística das peças são também aqui definidas.

e) cotação dos equipamentos e seleção da melhor opção: esta última fase do projeto do novo processo compreende as seguintes fases:

- Cotação das máquinas - a cotação dos equipamentos no mercado deve ser feita comercialmente e tecnicamente, e o método de cotação será apresentado nos próximos capítulos.
- Verificação das cotações - as cotações fornecidas pelos fabricantes de máquinas, cujas características diferem das especificadas, devem ser testadas através de simulações, e ter seu layout analisado.
- Seleção dos fornecedores - assim como a especificação e cotação, a análise das propostas e a seleção dos fornecedores de equipamentos também são objeto de estudo deste trabalho, sendo detalhados nos próximos capítulos.

CAPÍTULO 5.

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

5.1. Tipos de Métodos de Avaliação

Para que o processo de seleção de máquinas tenha validade, ele não pode ser baseado em fatores subjetivo, deve ser coerente com a realidade e a experiência profissional, deve ter repetibilidade e reprodutibilidade (deve levar sempre ao mesmo resultado, mesmo sendo realizado por pessoas diferentes), e deve ser fundamentado de tal forma a ter o reconhecimento de todos os envolvidos no processo. Para chegarmos a este resultado, nesse capítulo vamos analisar alguns métodos de avaliação de projeto, baseado em [Dieter 00]. Esses métodos se baseiam em comparação entre várias propostas. Para que a comparação tenha validade, ela deve ser realizada sempre sob um mesmo nível de detalhamento, e sob um mesmo horizonte. As comparações podem ser absolutas, quando confrontadas com um padrão pré-estabelecido, ou relativas, quando as opções são comparadas entre si.

5.1.1. Comparação baseada em Critérios Absolutos

Podem ser utilizados três tipos de comparação absoluta para os conceitos de máquinas apresentados pelos fornecedores [Dieter 00]:

■ Avaliação baseada no julgamento da viabilidade do projeto, que pode ser analisada ainda em três categorias: (a) é o projeto viável (ele funciona)?; por que não é viável?; (b) seu funcionamento é condicional (depende de que algo aconteça)? (c) parece que vai funcionar um dia (depende do desenvolvimento de algum elemento crítico ao projeto)?; Esse julgamento depende fortemente da experiência do time de projeto.

■ Avaliação baseada na análise da maturidade da tecnologia utilizada, onde verifica-se se o conceito tecnológico utilizado é maduro o suficiente para ser usado no projeto do equipamento. Podem ser feitas as seguintes perguntas: (a) a tecnologia pode ser aplicada usando processos conhecidos? (b) Estão identificados os parâmetros críticos que controlam seu funcionamento? (c) São conhecidos os limites seguros de operação e seus parâmetros de sensibilidade? (d) Foram identificados seus modos de falha? (e) Existem experimentos que provem respostas positivas para as questões acima?

■ Avaliação baseada no conceito “passa - não passa” em relação aos requisitos do cliente. Após passar pelos filtros anteriores, verifica-se se o conceito atende às especificações do equipamento: as especificações devem ser listadas e perguntadas se são atendidas ou não, com respostas do tipo sim (passa), talvez (passa), ou não (não passa). Serão eliminados aqueles conceitos que claramente não atendem às especificações colocadas.

Esse método de avaliação dos equipamentos é interessante para se analisar a utilização de novas tecnologias, e para se fazer uma primeira triagem do que atende ou não atende às principais especificações do equipamento.

5.1.2. Método de Seleção de Conceito de Pugh

O método faz uma comparação qualitativa entre as várias opções de equipamento ou processo apresentadas, de forma relativa, isto é, tendo como base de comparação uma das alternativas. As opções são classificadas como sendo melhores, piores ou equivalentes ao padrão selecionado, com respeito aos vários critérios de comparação listados. Este método é ideal no desenvolvimento de projetos, pois faz uma comparação apontando os pontos fortes e os fracos de cada uma das opções. Informações estas que podem ser aproveitadas no desenvolvimento de novas opções mais robustas. Também é muito interessante na especificação do processo a ser utilizado.

Ele se baseia nos seguintes passos [Dieter 00]:

■ Estabelecer o novo conceito padrão: o conceito melhor avaliado no passo anterior passa a ser, agora, o novo padrão de comparação, e aqueles conceito com avaliações mais baixas podem ser agora descartados. Esse passo serve para a confirmação das avaliações realizadas, agora sob um padrão de comparação mais rígido. Várias iterações podem ser feitas, onde entre cada uma delas podem e

■ Analisar as notas: as notas (+), (-), e (0) devem ser somadas separadamente, e aqueles conceitos melhor avaliados devem ser analisados mais profundamente, buscando a razão para suas notas negativas, e buscando soluções para estas dentre os conceitos classificados positivamente naquele critério. Modificações no projeto e na cotação podem ser, então, analisadas junto aos fornecedores.

■ Preencher a matriz: cada conceito deve ser avaliado segundo cada critério, através das notas (+), quando é claramente melhor que o conceito padrão, (-) quando é claramente pior, ou (0), quando é equivalente ou não se tem certeza da resposta. Ele será o padrão de comparação inicial para a análise dos outros conceitos.

■ Encontrar o conceito padrão de comparação: deve ser feita uma rápida votação para pré-seleção daquele que se pensa ser o melhor dos conceitos apresentados. devem ter claramente os conceitos de todos os projetos analisados.

■ Esclarecer os conceitos dos projetos: todos os membros do time de avaliação os conceitos a serem comparados serão as colunas.

■ Formular a matriz de decisão, onde os critérios de comparação serão as linhas, e restantes deverão ser então classificados quanto à sua importância relativa.

Também é importante se retirar da lista aqueles itens que estão contidos dentro de outros itens, para que o critério não seja analisado em duplicidade. Os itens aqueles aos quais todos os conceitos a serem analisados teriam resposta positiva. importante, e estas então serão juntas, eliminando os itens semelhantes, e avaliação, onde cada membro gera uma lista de 15 a 20 itens que considera abstração. Esta lista pode ser gerada através de um *brainstorm* do time de misturar os dois tipos de critérios. para que se mantenha o mesmo nível de estejam disponíveis, lista-se os requisitos do cliente. É aconselhável apenas não características de engenharia do processo desenvolvido, ou caso estas ainda não Escolher os critérios sob os quais a análise será feita. Pode-se listar as

devem ser realizadas consultas aos fornecedores para esclarecimento de pontos obscuros.

5.1.3. Matriz de Decisão Ponderada

Em uma matriz de decisão, é imprescindível segundo [Dieter 00] determinar a importância relativa entre os critérios utilizados na avaliação dos conceitos testados, a fim de que não sejam supervalorizados critérios menos importantes, e subestimados os mais importantes, o que nos levaria a uma avaliação completamente equivocada dos conceitos. Podem ser utilizadas várias formas de ranqueamento entre os critérios de comparação, como segue:

- escalas nominais: onde os critérios são classificados como “importantes” ou “fracos” - não se trata de uma escala de medição quantitativa.

- escalas ordinais: onde os itens são dispostos em ordem, de acordo com sua importância relativa. Essa escala não diz, porém, o quanto um critério é mais importante que outro.

- comparação em pares: é uma forma de dar pesos relativos entre os critérios de seleção, comparando critério contra critério, um a um, definindo quem é o mais importante entre os dois. É feita uma matriz onde são dispostos os critérios nas linhas e nas colunas, e comparados um a um, dando o valor 1 para o mais importante e zero para o menos importante. A soma da linha de cada linha dará o peso relativo entre os critérios:

Tab. 5.1. - Matriz de comparação entre Critérios de Seleção [Dieter 00]

Critérios	A	B	C	D	E	Total
A	-	1	0	0	1	2
B	0	-	1	1	1	3
C	1	0	-	0	0	1
D	1	0	1	-	1	3
E	0	0	1	0	-	1
						10

A Matriz de Decisão Ponderada é a matriz de comparação onde são atribuídos pesos relativos entre os critérios de avaliação, e os conceitos analisados recebem notas de 0 a 4, no caso de não se conhecer com detalhes as opções, ou de 0 a 10, quando há um conhecimento maior das opções. A seguinte tabela de notas é sugerida por [Dieter 00]:

Tab. 5.2. - Tabela de Avaliação de Opções de Projeto

Escola 0-10	Descrição da Solução	Escola 0-4	Descrição da Solução
0	totalmente inviável	0	inadequada
1	muito inadequada		
2	fraca	1	fraca
3	pobre		
4	tolerável	2	satisfatória
5	satisfatória		
6	boa com alguns inconvenientes		
7	boa	3	boa
8	muito boa		
9	excelente (excede requisitos)	4	excelente
10	ideal		

O processo de comparação se dá multiplicando-se, em uma tabela, os pesos de cada critério às notas de cada conceito, e fazendo-se a somatória dos totais por conceito. O conceito a ser selecionado seria aquele que tivesse o maior total geral. Lembrando que devem ser analisados os pontos fracos de cada conceito, e buscar-se soluções para estes pontos, antes de se tomar a decisão final.

5.1.4. Processo de Hierarquia Analítica (AHP - Analytic Hierarchy Process)

Segundo [Dieter 00], esse método permite se trabalhar com múltiplos critérios, sejam eles tangíveis, intangíveis, objetivos e subjetivos. Ele nos dá uma maneira de determinar pesos e valores para cada critério de uma forma consistente, metodologicamente correta, e intuitivamente aceitável. O processo se inicia fazendo a comparação em pares dos critérios de seleção, porém segundo um critério mais refinado de importância relativa entre eles, segundo a seguinte tabela:

Tab. 5.3. - Escala Fundamental de Saaty para comparações em pares

Valor da Importância	Definição	Descrição
1	Igual Importância	Os critérios contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância Moderada	Experiência favorece levemente um critério em relação ao outro
5	Grande Importância	Experiência favorece fortemente um critério em relação ao outro
7	Muito Grande Importância	A prática demonstra que um critério é muito mais importante que o outro
9	Importância Extrema	As evidências que favorecem um critério sobre o outro são os maiores possíveis
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	

Na comparação um a um, é formada uma matriz quadrada onde os vários critérios estão dispostos nas linhas e nas colunas, e na intersecção entre elas avalia-se a importância relativa da linha em relação à coluna. Onde o critério comparado tem importância menor que a comparação, ele recebe como avaliação o inverso do valor da tabela, como no exemplo abaixo:

A consistência dos dados pode ser testada calculando-se o Índice de Consistência (IR), que é o autovalor (ou valor próprio) da matriz, e que deve ser próximo de zero. Valores aceitáveis são de $IR \leq 0,1$.

O próximo passo é montar uma matriz semelhante para a comparação entre os conceitos propostos, para cada critério de seleção. Valores de custos podem ser representados pelos seus inversos (pois para custos, números menores são melhores que os maiores), normalizados, e quando se tem dúvida de quem é o melhor naquele critério, faz-se a comparação em pares entre todos os conceitos propostos.

O resultado final é obtido pela multiplicação de cada nota, segundo cada critério, pelo seu respectivo peso, e somando-se o total de cada conceito. Vence aquele que tiver a maior pontuação.

5.2. Método Proposto

Propõe-se a utilização de um método de avaliação para a análise das ofertas técnicas dos equipamentos ofertados, para se garantir imparcialidade nas comparações, e também tornar o processo robusto o suficiente para que não haja contestação do resultado. Será excluído do mesmo os custos de aquisição ou qualquer outro valor proveniente de análise financeira, para que sejam comparados apenas critérios técnicos. O método proposto é o do Processo de Hierarquia Analítica (AHP), para a determinação dos pesos relativos entre os vários critérios de seleção, sendo a comparação entre as propostas realizada através de notas relativas, usando-se como padrão de comparação uma das propostas apresentadas, ou as próprias especificações do equipamento solicitadas na cotação.

CAPÍTULO 6. METODOLOGIA PROPOSTA: PROCESSO DE ESPECIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE MÁQUINAS

Visão Geral da Metodologia

O processo de aquisição de equipamentos segue, em geral, o seguinte esquema: o processo se inicia com a especificação do equipamento, e em seguida tem-se a cotação comercial com os fornecedores, baseada nessa especificação. Recebidas as cotações, tem lugar o processo de escolha, baseado nas características técnicas e comerciais oferecidas.

A metodologia proposta irá se preocupar com essa fase inicial de especificação do equipamento, e com o processo de escolha.
O fluxograma macro do processo encontra-se a seguir:

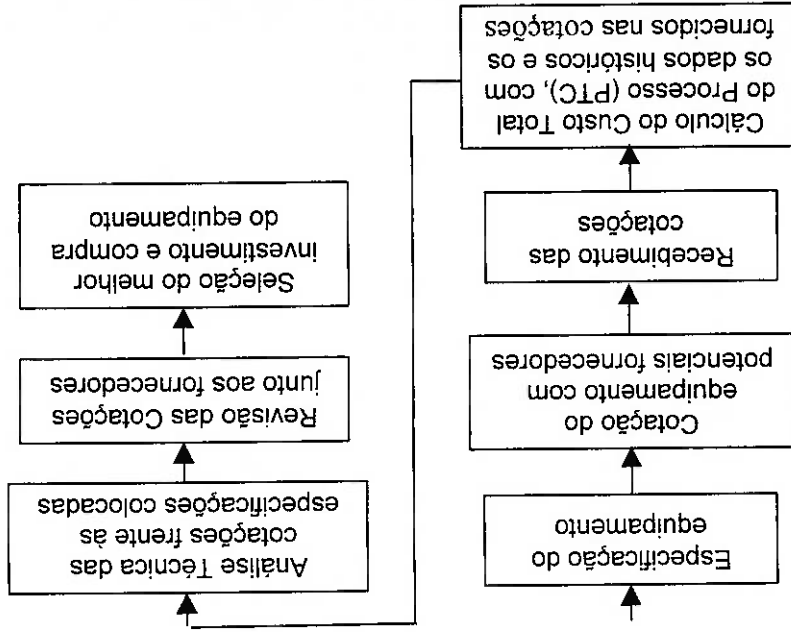


Fig. 6.1. - Processo de compra de equipamento

Vamos, nos tópicos seguintes, detalhar a proposta, dividindo-a, para um melhor entendimento, em duas fases:

■ **Processo de Especificação de Máquinas** - descreve as características a serem especificadas em uma compra de máquina, com o intuito de garantir um menor custo de produção aliado a um investimento enxuto, maximizando o retorno do investimento.

Nesse tópico utilizaremos as ferramentas de projeto e a análise dos custos produtivos apresentada, na definição do que deve ser especificado.

■ **Processo de Seleção de Máquinas** - fornece os parâmetros de seleção entre os investimentos propostos, usando para isso a análise do Custo Total do Processo. Tem como dados de entrada as especificações técnicas, o valor do investimento e os custos de produção.

Na Revisão Bibliográfica foram apresentadas as análises de investimentos, os custos de um processo produtivo e sua influência sobre o custo do produto. O conhecimento destes conceitos, aliado às ferramentas de processo enxuto (para a especificação de máquinas) e métodos de avaliação (para a seleção de máquinas), completam a metodologia proposta neste trabalho.

Na metodologia, temos o seguinte fluxo de informações:

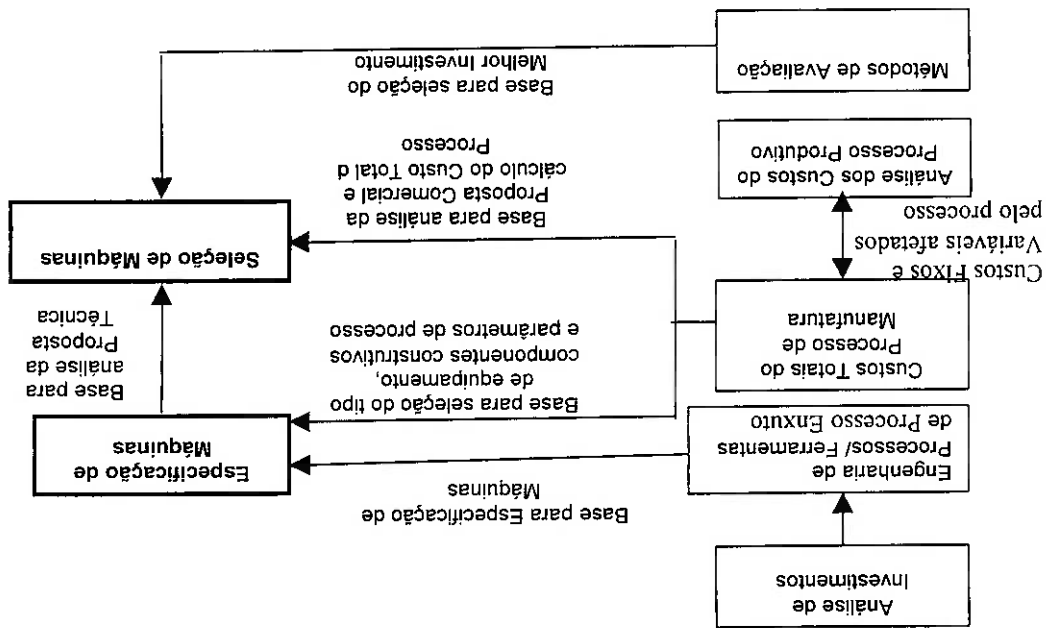


Fig. 6.2. - Processo de Especificação e Seleção de Máquinas

A Especificação de Máquinas é feita a partir de detalhes definidos na Engenharia do Processo. O Engenheiro de Processos deve utilizar a teoria da Manufatura Enxuta e a Análise de Investimentos como ferramentas para definir quais características de máquinas são interessantes de serem especificadas, no intuito de reduzir o Custo Total do Processo. O conhecimento dos custos do processo será essencial para isso. Após concluída a Especificação e terminada a cotação dos equipamentos, os Métodos Decisórios auxiliarão na escolha da melhor opção ofertada.

No Capítulo 7 temos um exemplo completo de cálculo dos custos de um processo de manufatura: o custo de aquisição do equipamento e seus custos anuais de produção. Este exemplo deixará claro como deve ser feito o modelamento dos custos de manufatura de um processo produtivo.

6.1. Processo de Especificação de Máquinas

Nesta seção, vamos descrever como deve ser feita uma especificação de máquina, de modo a reduzir os custos de aquisição de equipamentos e o Custo Total do Processo. Vamos iniciar descrevendo cada parte que compõe uma especificação de máquina de processo produtivo.

6.1.1. Estrutura de uma Especificação de Máquina

Consideremos o seguinte exemplo de especificação de máquina (caso real):

“01 torno frontal bi-fuso, com alimentação automática, para operação 20 de usinagem de disco de freio, conforme folha de processo anexa. Capacidade: 30 peças/hora, a 85% de eficiência”.

Essa é uma maneira comum de se especificar e cotar uma máquina junto aos fabricantes de equipamentos. Parece ser o suficiente, porém existem algumas falhas. Como vimos nos capítulos anteriores, uma série de dados são necessários para o cálculo do PTC de um equipamento. Muitos deles são de responsabilidade do Engenheiro de Processos em especificar e exigir. Vamos definir que itens devem ser cobertos em uma especificação [Ford 00], e detalhar o que deve constar em cada um destes itens para que se possa exigir do fornecedor da máquina a performance requerida do equipamento quando em produção.

a) Descrição da Compra

Este primeiro item deve conter:

- as características principais do equipamento, processo ou serviço comprado,
- tipo de processo,
- tipo de máquina (ou serviço),

- modelo da máquina (quando previamente selecionado ou a máquina é existente),
- características construídas principais, tais como: tipo e quantidade de fusos ou cabecotes, tipo de operação (manual/ automática/ semi-automática), tipo de carga/ descarga de peças na máquina.

O processo requerido e o tipo de máquina a ser usado devem ser previamente estabelecidos pelo Engenheiro de Processo, de acordo com suas necessidades de projeto, como visto na seção 4.2.2. É recomendável uma pré-consulta aos fornecedores de máquinas para se atualizar quanto às novas tecnologias disponíveis, porém atento ao custo/ benefício e risco/ benefício dessas novas tecnologias. Ser o pioneiro na utilização de máquinas de conceitos revolucionários nem sempre pode ser uma experiência agradável.

Existe a opção pela compra dos chamados “*Turn-Keys*”, ou seja, a compra da célula completa do processo de fabricação, incluindo máquinas, dispositivos, ferramentas, transporte de peças, controles, gerenciamento da linha, agregados, acessórios, e tudo o mais que se faça necessário ao funcionamento completo da célula. Neste caso, o custo fica mais elevado, porém a responsabilidade pelo funcionamento completo fica centralizada em um único fornecedor, o que facilita a cobrança de responsabilidades e a tomada de ações de melhoria, além de dispensar parte da mão de obra interna de Engenharia. Mais uma vez é questão de análise de custo. A especificação para este tipo de compra deve ter cuidado redobrado, pois agora deve-se especificar um sistema muito mais complexo que um simples equipamento.

Enriquecendo agora o nosso exemplo, frente ao que foi exposto:

“01 torno frontal bi-fuso, modelo TFB-A, operação automática, com carga e descarga automática de peças do tipo gantry (portal)”

b) Descrição do Processo

- Deve especificar claramente para que servirá o equipamento. Deve descrever:
- qual as operações a serem realizadas
- quais as peças a serem produzidas

■ folhas de processo e desenhos das peças devem estar anexos, como no exemplo da peça, quais as tolerâncias de fabricação, ou seja, todas as características do processo.

No nosso exemplo:

“para operação 20 de usinagem do disco de freio no. XKF-12930-BA e -CA, conforme folhas de processo e desenhos anexos”

c) Acessórios

Deve ser muito bem especificado quais os acessórios necessários ao funcionamento da máquina. Quando isso não é citado, fica difícil a comparação entre cotações de máquinas diferentes, pois cada fabricante irá cotar um acessório diferente, além de não se garantir a configuração ideal da máquina. Deverão ser pedidos apenas os acessórios estritamente necessários aquela operação. Outros, que não estes, podem ser cotados como “opcionais”, para futura análise de viabilidade pelo Engenheiro. A seleção dos acessórios é resultado da análise das necessidades de projeto, na busca do atendimento às especificações colocadas e do menor custo de ciclo de vida.

Podemos adicionar no exemplo citado:

“O torno deve estar equipado com sistema de detecção de quebra de ferramenta. Calibrador ‘in-process’ para as tolerâncias indicadas, sistema de refrigeração de painel elétrico por água gelada e fuso principal com velocidade de 8.000 rpm”.

d) Requerimentos construtivos do equipamento

Cada empresa tem uma filosofia de como devem ser construídas as máquinas. Podem ser exigidos desde cor padronizada do equipamento, marcas específicas de componentes de máquina, até tolerâncias específicas de projeto da máquina. O importante é ressaltar que os objetivos destes requerimentos especiais são:

■ a padronização de componentes, que visa reduzir o estoque de peças de reposição através da comunização com as máquinas existentes, e reduzir custo de treinamento do pessoal de manutenção, já acostumado com aquele tipo de componente.

- garantir a qualidade dos componentes de máquina, através da exigência de marcas já aprovadas pela empresa para aquele determinado uso.
- garantir a robustez do equipamento, através da exigência de testes de resistência e desgaste, tolerâncias construtivas específicas de determinadas partes da máquina, estudo de Confiabilidade de Projeto da máquina, redundância em determinados componentes (para aumento da confiabilidade)
- aumento da disponibilidade do equipamento, com dispositivos de troca-rápida
- garantia da qualidade, com dispositivos zero-defeito
- aumento da eficiência global, através da automação de determinadas operações da máquina e previsão de equipamentos de comunicação via rede
- simplificação de operação e manutenção, através de auxílios visuais e padronização de painéis de comando
- especificação das utilidades disponíveis na fábrica e ambiente, como tensão e frequência elétrica, temperatura ambiente, umidade, condições de piso e telhado, vibrações de piso, tamanho máximo para transporte interno, pressão de ar comprimido/hidráulica, temperatura/pressão de água de resfriamento, iluminação, partículas em suspensão/gases na atmosfera, nível de ruído, etc.
- garantir padrões de segurança de operação e meio-ambiente, como avisos/pinturas/placas, dispositivos de segurança: comandos bi-manuais, botões de emergência, sensores de presença, cortinas de luz, proteções mecânicas (anteparos); iluminação especial, nível de ruído, controle de emissões, ergonomia, sistemas anti-incêndio, etc.
- redução de custo de instalação, através de projeto da máquina em módulos, previsão de pontos de içamento, agregados individuais (- não centralizados, como conjunto hidráulico, refrigeração, remoção de cavacos, exaustão, sistemas de filtros, etc., que aumentam a disponibilidade da linha como um todo), não necessidade de fundações ou valas, etc.
- garantir conteúdo e uniformidade de informação na documentação técnica do equipamento, tais como desenhos mecânicos, esquema hidráulico, elétrico, pneumático, documentação de programação em software, listas de peças de reposição, manual de operação e manutenção (corretiva e preventiva), etc. O mesmo para o treinamento de operadores e pessoal de manutenção.

Devido à extensão destes requerimentos construtivos, é mais indicado a preparação de um anexo padrão contendo todas estas especificações, com um check-list para definir qual item deve ser atendido para cada determinado tipo de equipamento. Exigir tudo em qualquer tipo de compra é desperdiçar recursos, além de tornar inviável a obediência às especificações. Deve portanto existir a flexibilidade de aplicação das exigências. Outra coisa a ser considerada é o custo de aquisição dessas exigências em relação à redução de custo de operação. Dependendo do tipo de máquina a ser comprado, como as chamadas "máquinas de prateleira" - aquelas feitas em série por grandes fabricantes, não é viável tecnicamente que atendam a todas as especificações propostas. Dessa forma, o custo menor destas máquinas pode valer a pena, principalmente quando compradas em quantidade (o que possibilita uma redução do estoque de peças de reposição e padroniza operação e manutenção), mesmo não atendendo todas as especificações, e portanto, resultando em um custo maior de produção.

Supondo, no nosso exemplo, que exista um livro de especificações já preparado: "A máquina e acessórios fornecidos devem estar em conformidade com o 'Manual de Especificação de Máquinas' e seus complementos, em anexo, com relação aos itens marcados pelo Engenheiro de Processo."

e) Condições de Trabalho

Neste tópico da especificação, deve constar:

- prazo de implementação do processo
- regime de trabalho (horas/ dia, dias/ ano)
- tempo diário para manutenção preventiva
- produção requerida (peças/ ano)
- porcentagem de tempo não-produtivo do operador (tempo ocupado por ele para manutenção preventiva, controles/ registros/ documentação de produção, intervalos para descanso, troca de turno)
- disponibilidade exigida do equipamento, MTBF (tempo médio entre falhas), MTRR (tempo médio para reparo)

Deve ficar claro nesta parte quais serão os critérios de aceitação e aprovação da máquina, ou seja, quais requerimentos deverão estar obrigatoriamente atendidos e quais os métodos de medição a serem adotados para a comprovação deste atendimento. Entende-se por "Aceitação" a aprovação da máquina quanto a seus aspectos construtivos, em conformidade com as especificações colocadas na cotação. A "Aprovação Final" seria considerando-se a conformidade, frente às especificações, da performance do equipamento em disponibilidade, qualidade e tempo de ciclo, testadas conforme os critérios colocados. A Aceitação corresponde ao evento de liberação de embarque do equipamento à planta do cliente, para que seja instalada no seu local de trabalho. A Aprovação Final corresponde ao evento de pagamento da

f) Critérios de Aceitação, Aprovação Final e Garantia

Podemos adicionar em nosso exemplo:

"Capacidade requerida: 250.000 peças/ano; regime de trabalho: 20 h/ dia, 235 dias/ano; assumir 11% de tempo não-produtivo, incluídos 20 min/ dia para manutenção preventiva. É requisitada uma disponibilidade por quebras $A > 99\%$, com $MTBF > 100h$ e $MTTR < 1h$; índice máximo de refugo: 0,5%; Capacidade (desempenho a curto prazo) $Ppk > 1,67$; vida útil projetada: 12 anos; tempo máximo de setup e troca de ferramenta: 5min."

Termos de confiabilidade e manutenção do equipamento.

Todos os dados fornecidos neste tópico são de extrema importância para uma correta cotação do equipamento, pois são a partir deles que o fabricante vai projetar a máquina, tanto em termos de capacidade produtiva e índice de refugos, quanto em termos de confiabilidade e manutenção do equipamento.

feramenta, número de operadores, dimensões/peso da máquina, etc.

- outras observações que se façam necessárias, tais como tempo máximo de troca de
- vida útil do equipamento (tempo do ciclo de vida)
- capacidade potencial (Pp) e de desempenho (Ppk) de qualidade a curto prazo, ou seja, capacidade de produzir a característica do produto de forma precisa, repetitiva e centrada entre os limites de engenharia (tolerância), em amostras consecutivas, sem considerar variações externas ao processo
- índice de qualidade (ou % de refugo aceitável)

parcela final da máquina, e início de produção em condições normais (e ótimas) de

operação.

A Garantia da máquina deve ser negociada no ato da cotação, ou exigida pelo Engenheiro de Processo, de acordo com suas necessidades. O tamanho desta garantia deve ser muito bem estudado em termos de custo, pois uma extensão da sua duração pode custar muito mais que os custos em manutenção correspondentes ao período de extensão. Além disso, deve-se garantir que a produção siga rigorosamente as instruções de manutenção preventiva descritas no manual para que não se perca a garantia do equipamento. O período de garantia geralmente corresponde ao tempo em que 10% da população daquele tipo de máquina sofre alguma falha maior, conforme critérios de Confiabilidade de Projetos [O'Connor 85].

É comum que os equipamentos tenham que ter sua aprovação final decretada por razões políticas, como por exemplo quando o fornecedor se apresenta em condições financeiras delicadas, e precisa receber o pagamento final, ou mesmo quando existe alguma discordância a respeito da situação de conformidade do equipamento frente às especificações. Outra situação comum, é quando o equipamento não consegue atingir as especificações de performance, e o fornecedor precisa de um tempo maior para solucionar os problemas. Nestes casos onde é inevitável bloquear a aprovação final, costuma-se listar todas as pendências e cobrar um plano de ação para a solução de cada uma delas. O que também é recomendável é cobrar do fornecedor as perdas da produção correspondentes ao não cumprimento das especificações na forma de extensão de garantia do equipamento, o que resultaria em um custo indireto ao fornecedor. Para que isso seja feito, os critérios de contabilização de custos e tomada de dados na produção devem ser previamente definidos, e preferencialmente acompanhados de perto pelo Engenheiro e pelo fornecedor.

Para a verificação do equipamento quanto ao cumprimento às especificações, devem ser desenvolvidos *check-lists* com perguntas objetivas e específicas, evitando-se questões genéricas que possam levar à dupla interpretação, a serem verificadas ainda no fabricante.

No caso dos requerimentos de disponibilidade de equipamento, deve ser feita a medição após a aprovação final da máquina, durante a produção normal, e caso não atenda às especificações deve ser negociado o acréscimo no período de garantia

correspondente às perdas registradas, até que os problemas sejam sanados e a especificação seja atendida.

Outra forma de teste de disponibilidade é, ainda no fabricante, colocando a máquina em ciclo contínuo em vazio por uma quantidade determinada de horas, sem intervalos, não podendo haver nenhuma falha. Esta quantidade de horas é função do MTBF requerido.

Para a verificação da capacidade da máquina, deve ser feito um teste de produção (*try-out*) com uma quantidade reduzida de peças (mínimo 25 peças) com a máquina ainda no fabricante, e outro com um lote completo (300 peças) após a instalação da máquina no local de trabalho.

Cada empresa tem suas exigências quanto a período de garantia e testes para aprovação de máquinas. Tudo depende das características de seus processos de fabricação, disponibilidade de mão de obra de manutenção, tipos de equipamentos, etc., portanto, vamos colocar a especificação destes testes de forma genérica, deixando para trabalhos futuros um detalhamento deste tópico.

Assim, no exemplo, adicionamos ao texto:

“Os critérios de aceitação, aprovação final e garantia estão descritos no ‘Manual de Especificação de Máquinas’ em anexo”

g) Fornecimento da Cotação

Este último item visa a padronização da resposta de cotação, o que é essencial para facilitar a comparação entre as opções e possibilitar a seleção do melhor equipamento. Deve ser apresentado ao fornecedor todos os formulários de resposta, no formato já definido, para que o preenchimento seja o mais fácil e direto possível. Todos os dados necessários à preparação da proposta devem estar tabulados. Deve estar claro como será feita a comparação entre as opções, para que o fornecedor procure ser claro e rico em detalhes nos pontos mais importantes. Deve também ficar claro o critério a ser adotado no caso de itens não cotados. O mais indicado neste caso é adotar o maior preço dentre os cotados para aquele item em especial, quando não for possível fazer a revisão imediata da cotação.

A comparação entre as cotações deve ser feita de forma objetiva, com comparação de preços nas mesmas unidades, mesma base monetária, considerando o custo total do processo para um mesmo período temporal. A análise da cotação técnica deve ser feita de acordo com o método aqui proposto.

No exemplo dado:

"A cotação deve ser entregue utilizando-se os formulários fornecidos, e o método de comparação entre as cotações será através do Custo Total do Processo e da análise da cotação técnica."

Podemos agora re-escrever completamente a especificação no exemplo dado:

"A) Descrição do Equipamento:

01 torno frontal bi-fuso, modelo TFB-A, operação automática, com carga e descarga automática de peças do tipo gantry (portal)

B) Descrição do Processo:

Operação 20 de usinagem do disco de freio no. XKF-12930-BA e -CA, conforme folhas de processo e desenhos anexos.

C) Acessórios:

O torno deve estar equipado com sistema de detecção de quebra de ferramenta, calibrador 'in-process' para as tolerâncias indicadas, sistema de refrigeração de painel elétrico por água gelada e fuso principal com velocidade de 8.000 rpm.

D) Requisitos Construtivos:

A máquina e acessórios fornecidos devem estar em conformidade com o 'Manual de Especificação de Máquinas' e seus complementos, em anexo, com relação aos itens marcados pelo Engenheiro de Processo.

■ Redução de tempo de setup (preparação de máquina), troca de ferramentas e de dispositivos, através da especificação do uso de sistemas de troca-rápida. Isso

Tendo em mãos os detalhes do processo, definidos pelo Engenheiro na fase de projeto do mesmo, veremos como especificar a máquina com base nesses detalhes. Vamos resumir aqui os fatores mais importantes que devem ser observados na especificação dos equipamentos, levantados no Capítulo 4:

6.1.2. Especificação de Máquina

- *Manual de Especificação de Máquinas*
 - *Folhas de Processo e Desenhos das peças*
 - *Formulário Padrão para Resposta de Cotação de Compra de Máquinas*
- H) **Anexos:**

A cotação deve ser entregue utilizando-se os formulários fornecidos, e o método de comparação entre as cotações será através do *Custo Total do Processo e da análise da cotação técnica*.

G) **Fornecimento da Cotação:**

Os critérios de aceitação, aprovação final e garantia estão descritos no 'Manual de Especificação de Máquinas' em anexo.

F) **Crítérios de Aceitação, Aprovação Final e Garantia:**

E) **Condições de Trabalho:** Prazo de Implementação: DD/MM/AA; Capacidade requerida: 250.000 peças/ ano; regime de trabalho: 20 h/ dia, 235 dias/ ano; assumir 11% de tempo não-produtivo, incluídos 20 min/ dia para manutenção preventiva. E requisitada uma disponibilidade por quebras $A > = 99\%$, com $MTBF > = 100h$ e $MTTR < = 1h$; índice máximo de refugo: 0,5%; Capacidade (desempenho a curto prazo) $Ppk > = 1,67$; vida útil projetada: 12 anos; tempo máximo de setup e troca de ferramenta: 5min.

- permite um aumento do tempo líquido disponível para produção, exigindo um tempo menor de ciclo de operação do equipamento.

■ Melhoria do fluxo dos materiais na fábrica, através de um layout mais eficiente e otimização dos estoques, propiciando uma queda nos custos de inventário, um aumento do rendimento das máquinas (pois estas deixam de ficar bloqueadas ou esperando peça), melhoria da qualidade (devido à menor movimentação de materiais), e redução do custo de mão de obra. Um layout reduzido também permite menores investimentos em edificações prediais. Deve ser especificado um sistema de alimentação de peças tipo FIFO (*First in, First out* - Primeira peça que entra é a primeira que sai), com ponto de alimentação frontal, e transportadores de peças com capacidade definida. O tamanho da máquina deve ser reduzido, e que preferencialmente não exija fundações especiais.

■ Redução no número de operadores, através de um layout eficiente e definição correta do tipo de alimentação de peças nas máquinas. Carga e descarga de peças devem, sempre que possível, ocorrer sem a interrupção da operação, isto é, devem ser internas ao ciclo da máquina. Isso permite que o tempo de carga/descarga não seja contado no ciclo, e que o operador fique livre para realizar outra função enquanto a máquina trabalha. Equipamentos semi-automáticos (com carga/descarga externa ao ciclo, isto é, cujo tempo deve ser adicionado ao tempo da operação) devem também permitir que o operador fique livre para outras funções durante a operação. Outra opção é a automatização da alimentação das peças, opção que deve ser analisada com cuidado, pois o investimento deve ser compensado financeiramente pela economia em mão de obra. Em países cujo custo da mão de obra é reduzido, como no Brasil, geralmente automatizações não são financeiramente interessantes, a não ser quando vários operadores possam ser substituídos pelo equipamento, ou quando se trata de operação de risco, ou ainda para aquelas operações que exigem uma precisão ou repetibilidade não alcançadas pelo ser humano.

■ Aumento da Disponibilidade do equipamento, através do aumento do tempo médio entre falhas (MTBF) e redução do tempo médio para reparo (MTTR). Isso pode ser conseguido através de:

 - implementação de melhorias no projeto do equipamento,

- análise de falhas em equipamentos existentes,
 - gerenciamento automático da máquina (automação - que controla as falhas da mesma gerando os alarmes correspondentes, fazendo a auto-diagnose das falhas, e contabilizando as estatísticas de parada de máquina),
 - trocas-rápidas de componente da máquina,
 - auxílios visuais para operação e manutenção (indicações de sentido de fluxo de fluidos, faixa de pressões de trabalho nos manômetros, luzes indicativas e alarmes, cores de botões, etc.),
 - política eficiente de fornecimento de peças de reposição, comunicação de peças em estoque e utilização de componentes de prateleira (padronizados, comuns de mercado),
 - planejamento correto das manutenções preventivas e preditivas
- Melhoria da Qualidade, através da utilização de auxílios visuais em calibradores e identificação de peças (como em sistemas de alimentação) e ferramentas a serem usadas, e dispositivos zero-débito, que possam evitar mecânica ou eletricamente que a operação seja realizada de forma errada ou que uma peça defeituosa prossiga para operações seguintes.
- Melhoria da Performance, com simplificação das operações a serem realizadas pelo equipamento, auxílios visuais para operação do mesmo, e automatização de tarefas repetitivas.
- Redução do Custo Operacional, com exigência de consumo reduzido de energia (com utilização de equipamentos de auto fator de potência e uso de acumuladores de energia), de consumíveis (como água, fluidos, óleos, gases, etc.), baixo nível de emissões e sua contenção (fumaça, poeira, névoa, gases, faíscas, produtos químicos, borras, cavacos, ruído, calor, vibração, luz, etc.) e eliminação de riscos de acidentes ao operador, demais funcionários e ao meio-ambiente.
- Automação da operação, por sistemas de auto-diagnose de falhas do equipamento. gerenciamento das falhas (MTBF, MTTR, estratégia das taxas de falha e suas causas, indicação luminosa da condição da máquina, alarmes de falha), gerenciamento da produção (peças produzidas por hora), gerenciamento da qualidade (quantidade de peças com defeito por hora, estratégia dos defeitos e suas causas, auto-correção de parâmetros), sistema de chamada de abastecimento

de peças, etc. Estes sistemas representam um certo custo de implementação, inclusive exigindo em alguns casos a pré-existência de sistemas de inteligência, gerenciamento, troca e armazenamento de dados centralizados para toda a fábrica. Este é um item que deve ser avaliado com cuidado quanto à sua viabilidade. Os benefícios são claros: controle total da operação, o que permite respostas rápidas ao surgimento de problemas e prevenção de outros, aumentando a disponibilidade e eficiência da produção, reduzindo perdas no processo.

6.2. Seleção de Máquinas

O sucesso do processo de Seleção de Máquinas depende totalmente de uma Especificação de Máquina bem feita, de forma que sejam dados subsídios para a comparação entre as cotações de forma clara e objetiva, e não falem dados de comparação.

Existem dois tipos de comparação a serem feitas: a da proposta comercial, que traz os valores monetários do custo de aquisição e do custo do processo no ciclo de vida do produto, e a da proposta técnica, que visa checar as especificações técnicas do equipamento ou processo cotado contra os requerimentos descritos na Especificação da Máquina, feita pelo Engenheiro de Processo. Com base nestas duas análises é que será tomada a decisão na compra do equipamento por um ou outro fornecedor.

6.2.1. Análise da Proposta Comercial

Tendo em mãos as propostas comerciais dos vários fornecedores, que devem incluir o custo total de aquisição e o custo anual de produção estimado, cabe agora ao Engenheiro de Processo concluir qual delas nos levará ao menor Custo Total do Processo (PTC). Para tal, deverá ser usada a análise já descrita nos capítulos anteriores:

a) Custo de Aquisição

Devem ser tabulados inicialmente os custos de aquisição, verificando se o fornecedor apresentou proposta para cada item solicitado: máquina básica, acessórios, dispositivos, ferramentas, garantias, peças de reposição, engenharia, custos de instalação e testes de aprovação, treinamento, impostos, etc. Para os itens não cotados, deve ser feita nova consulta ao fornecedor ou assumido o maior valor dentre os cotados para aquele item, para fins de comparação. Após isso, deve-se contabilizar os custos internos de instalação: construção civil, utilidades (água, energia, gases, fluidos), movimentação da máquina até o ponto de instalação dentro da fábrica, e custo da metragem quadrada de terreno ocupado pela máquina. De posse desses

valores, pode-se totalizar o Custo de Aquisição e fazer a calendarização dos pagamentos nos períodos negociados com o fornecedor.

b) Custos de Produção

Após concluída a contabilização dos custos de aquisição, tabula-se os custos anuais de produção decorrentes daquele processo, com base nos valores de consumo de materiais e mão de obra informados pelo fornecedor da máquina, na produção e manutenção do processo, e nos custos internos da fábrica em mão de obra, utilidades e consumíveis. Mais uma vez, valores não fornecidos devem ser consultados ou assumidos como sendo os mais onerosos dentre os cotados.

Soma-se a isso os custos de inventário decorrentes da imobilização de capital, e tem-se o total de custos anuais de produção. Esse valor deve mais uma vez ser calendarizado ao longo de toda a vida útil do equipamento (ou da peça a ser produzida), e no fim desconta-se o valor residual da máquina ao fim dessa vida útil, que seria o valor de mercado do equipamento após a sua utilização, ou o valor do mesmo após sofrer depreciação.

b) Custos Total do Processo

Agora, com os valores totais calendarizados dos Custos de Aquisição e dos Custos de Produção, podemos calcular o Custo Total do Processo, que corresponde ao Valor Atual (ou Presente) da soma de todas as parcelas, projetadas para uma mesma data, levando-se em consideração o custo de oportunidade de capital da empresa e a inflação projetada. A data escolhida como referência para a comparação dos valores pode ser qualquer uma, contanto que se utilize sempre a mesma para a comparação entre os fornecedores. Sugere-se a data correspondente ao início de produção (ou lançamento do produto), pois dessa maneira facilitará o cálculo do custo total do produto na sua entrada no mercado. Na Matemática Financeira, essa somatória de parcelas em um mesmo período corresponde ao Valor Atual dos custos, como vimos na revisão bibliográfica.

Concluindo, aquele fornecedor que oferecer o equipamento com o menor Custo Total do Processo será provavelmente o escolhido. Resta agora saber se ele atende a todas as especificações técnicas requeridas.

6.2.2. Análise da Proposta Técnica

A análise da proposta técnica tem como objetivo verificar se a máquina cotada atende a todas as especificações técnicas requeridas pelo processo. Essa análise deve ter por base um padrão de aceitação mínimo previamente preparado pelo Engenheiro. Caso a máquina não atenda a alguma especificação, deve-se fazer uma análise das consequências daquele não atendimento, na forma de custo de aquisição ou de produção, e somá-lo ao custo total do processo para aquela máquina [Kidd 95]. Por exemplo: digamos que tenha sido requerida uma disponibilidade $A(t)$ de 99%, porém a máquina foi ofertada com apenas 96%. Pode-se analisar o custo adicional, junto ao fornecedor, para se atingir os 99%, ou se verificar qual seria o aumento no custo de produção decorrente daquelas horas a mais de máquina parada (perda de produção) e de manutenção. Essa análise deve ser estendida para o projeto do processo como um todo (por exemplo, através de simulação), pois pode afetar a eficiência de outras máquinas.

As propostas devem ser tabuladas lado a lado, juntamente com o padrão mínimo de aceitação, o mais detalhadamente possível. Para facilitar este trabalho, é interessante enviar ao fornecedor junto com a solicitação de cotação uma planilha contendo todos os detalhes técnicos requeridos para que seja respondida "não atende/ atende/ supera", mais a descrição detalhada do que será fornecido naquele item, e um campo adicional para comentários.

Será usado para a análise da proposta técnica o método de avaliação proposto no Capítulo 5.

Um segundo objetivo da Análise da Proposta Técnica é verificar, através de pontuação em cada critério, quais os pontos fortes e quais os fracos, que devam ser reavaliados ou reprojitados pelo fornecedor. Essa revisão deve ser feita antes de se tomar a decisão final sobre quem irá fornecer o equipamento, pois às vezes alguns pontos obscuros da cotação, que a princípio podem levar o fornecedor a ser desqualificado da disputa, podem ser facilmente resolvidos ou modificados por ele. Também deve ser considerado o histórico (experiências anteriores) dos fornecedores potenciais: aqueles que prestam um bom serviço pós-venda, como rápido

fornecimento de peças e pronto suporte técnico, e aqueles que costumam fornecer equipamentos de comprovada robustez, naturalmente fornecerão dados mais confiáveis para a análise técnica.

6.2.3. Decisão do melhor negócio

Já temos o Custo Total do Processo (PTC) e a análise da Proposta Técnica de cada máquina ofertada, restando agora decidir qual o melhor negócio. Outras verificações podem ser feitas, tais como as citadas anteriormente quando da Análise de Viabilidade Financeira e Seleção do Investimento, porém deve-se sempre tentar transformar os conceitos subjetivos em valores monetários relacionados a estes.

Caso a máquina de menor PTC atenda a todas as especificações, a decisão é imediata. Se isso não ocorrer, deveremos transformar o não atendimento às especificações em valores de custos, como já citado no item anterior, e somar este valor ao PTC da máquina, contanto que sejam atendidas todas as especificações consideradas indispensáveis. Um exemplo comum de especificação que na maioria dos casos não pode deixar de ser atendida é o prazo de entrega da máquina. Cabe ao Engenheiro de Processo definir quais essas especificações que não podem deixar de ser atendidas. Como critério de desempate, pode-se escolher aquele que tenha maior pontuação na análise técnica, ou aquele que tenha o menor custo de aquisição, ou ainda aquele fornecedor com melhor histórico de fornecimento.

CAPÍTULO 7. ESTUDO DE CASO

A seguir será apresentado um exemplo real de aquisição de equipamento. Esse exemplo foi tirado de uma grande empresa automobilística, e suprimiu-se nomes, e quaisquer outras menções que pudessem identificar a fonte dos dados. Os valores apresentados estão alterados por um fator de conversão, a fim de descaracterizar qualquer ligação com sua fonte, porém continuam mantendo a coerência entre si. O tipo de equipamento também não é citado. Isso se faz necessário devido aos dados serem provenientes de cotações comerciais reais, cuja publicação não seria ética.

Trata-se da aquisição de uma modificação de um equipamento existente, pertencente a uma linha de fabricação, que deve ser automatizado para adaptar-se ao processo de fabricação de um novo produto, a ser manufaturado na linha atual de fabricação.

7.1. Especificação da Máquina

Segue abaixo a especificação original do equipamento, de onde foram retirados nomes e datas.

“AUTOMAÇÃO DA OP XX DA LINHA DE MONTAGEM PARA O NOVO PRODUTO, COMO DESCRITO ABAIXO:

A OPERAÇÃO DEVE SE MANTER FLEXÍVEL, TANTO O PRODUTO ATUAL COMO O NOVO, COM SETUP AUTOMÁTICO, OU PELO OPERADOR DENTRO DO TEMPO DE CICLO DO EQUIPAMENTO.

O EQUIPAMENTO ATUAL (DE ACIONAMENTO MANUAL) DEVE SER UTILIZADO NA AUTOMAÇÃO DA OPERAÇÃO.

A) DESCRIÇÃO DO PROCESSO:

OPERAÇÃO DE MONTAGEM DA PEÇA AB-1234 NA PEÇA BA-4321.

DESENHOS DE PRODUTO E FOLHAS DE PROCESSO DEVERÃO SER OBTIDOS COM A ENGENHARIA DE MANUFATURA, COM O SR. RICARDO.

B) ACESSÓRIOS:

O EQUIPAMENTO/ MODIFICAÇÃO DEVE INCLUIR DISPOSITIVO ZERO-DIFEITO (POKE-YOKE), QUE GARANTA A CORRETA MONTAGEM DO PRODUTO, SEJA QUAL FOR O MODELO PROGRAMADO.

C) REQUERIMENTOS CONSTRUTIVOS:

O EQUIPAMENTO/ MODIFICAÇÃO/ ACESSÓRIOS FORNECIDOS DEVEM ESTAR EM CONFORMIDADE COM O MANUAL DE ESPECIFICAÇÕES DE MÁQUINA, E SEUS COMPLEMENTOS, COM RELAÇÃO AOS ÍTENS MARCADOS PELO ENGENHEIRO DE PROCESSO, VISANDO OS SEGUINTES OBJETIVOS:

- PADRONIZAÇÃO DE COMPONENTES
- QUALIDADE DOS COMPONENTES DE MÁQUINA
- CONFIABILIDADE E MANUTENABILIDADE
- DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO
- QUALIDADE DA OPERAÇÃO
- EFICIÊNCIA GLOBAL
- SIMPLIFICAÇÃO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO
- PADRÕES DE SEGURANÇA E MEIO-AMBIENTE
- REDUÇÃO DE CUSTOS DE INSTALAÇÃO
- UNIFORMIDADE DA DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA E TREINAMENTO
- DISPONIBILIDADE DE UTILIDADES/ CONDIÇÕES AMBIENTAIS NO LOCAL DE INSTALAÇÃO.

D) CONDIÇÕES DE TRABALHO:

INÍCIO DA PRODUÇÃO (DATA MÁXIMA DE APROVAÇÃO DO EQUIPAMENTO): 31 / 12 / 02

REGIME DE TRABALHO: 235 DIAS/ ANO; 21,5 H/ DIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA/ PREDITIVA: 12 MIN/ DIA

PRODUÇÃO REQUERIDA: 450.000 PEÇAS/ ANO

PORCENTAGEM DE TEMPO NÃO PRODUTIVO: 5,7%

DISPONIBILIDADE REQUERIDA: > 99,6%, SENDO:

EQUIPAMENTO AUTOMÁTICO: MTBF > 250 H; MTRR < 1 H

EQUIPAMENTO SEMI-AUTOMÁTICO: MTBH < 125 H; MTRR < 0,5 H

ÍNDICE DE QUALIDADE DA OPERAÇÃO: > 99,85%

CAPABILIDADE (CURTO PRAZO): PP, PPK \geq 1,67

VIDA ÚTIL DO EQUIPAMENTO: MIN. 8 ANOS

SETUP/ RETOOLING DENTRO DO TEMPO DE CICLO DA OPERAÇÃO

E) CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO, APROVAÇÃO FINAL E GARANTIA:

DESCRITOS NO MANUAL DE ESPECIFICAÇÕES DE MÁQUINA, DISPONÍVEL NA ENGENHARIA.

F) FORNECIMENTO DA COTAÇÃO:
O DETALHAMENTO DA COTAÇÃO DEVE SER FEITO CONFORME PADRÃO FORNECIDO PELA ENGENHARIA, DEVENDO CONTER TODOS OS FORMULÁRIOS E ARQUIVOS PREENCHIDOS CORRETAMENTE. A SELEÇÃO DO FORNECEDOR SERÁ FEITA A PARTIR DA COMPARAÇÃO ENTRE ESSES FORMULÁRIOS E ARQUIVOS, ATRAVÉS DO CÁLCULO DE CUSTO TOTAL DO EQUIPAMENTO, INCLUINDO SEUS CUSTOS OPERACIONAIS. DEVEM SER COTADOS TODOS OS ÍTENS DESCRITOS NO ARQUIVO, TAIS COMO ENGENHARIA, MONTAGEM, PROGRAMAÇÃO, TRY-OUT, ACOMPANHAMENTO DA PRODUÇÃO, TREINAMENTO, ETC."

Como se percebe, buscou-se cobrir todos os detalhes necessários a uma boa especificação. A seguir, encontra-se a explicação de cada item da especificação, listados no item (C):

- PADRONIZAÇÃO DE COMPONENTES: Especifica marcas de componentes de máquina atualmente utilizados na fábrica, no intuito de reduzir o número de componentes em estoque e facilitar o trabalho de manutenção.
- QUALIDADE DOS COMPONENTES DE MÁQUINA: Especifica quais os componentes de qualidade conhecida, principalmente componentes ligados à segurança, tais como sistemas de parada de emergência, sensores elétricos, sistemas de levantamento de cargas, etc.

- CONFIABILIDADE E MANUTENABILIDADE: Explica os critérios de projeto que garantem a confiabilidade e manutenibilidade dos equipamentos, e especifica as formas de avaliação desses critérios.

- DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO: Explica os cálculos de MTBF, MTTR e Disponibilidade (A), e especifica como devem ser os testes para aprovação do equipamento. Fica aqui definida a importância da Disponibilidade como parte integrante da garantia da máquina, sendo item a ser auditado periodicamente segundo critérios pré-estabelecidos, sob pena de extensão da garantia caso não se cumpra a performance prometida na cotação.

- QUALIDADE DA OPERAÇÃO: Ficam aqui definidos os índices de qualidade de fabricação a serem atendidos pelo equipamento, e os testes de aprovação do mesmo.

- EFICIÊNCIA GLOBAL: Este tópico externa a preocupação da empresa com a eficiência das linhas de fabricação, e define os parâmetros de Projeto Enxuto a serem seguidos no projeto da linha e dos equipamentos.

- SIMPLIFICAÇÃO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO: Exprime a necessidade de, ainda no projeto da máquina, incorporar os conceitos de troca-rápida e zero-defeito, além de definir os padrões de Gerenciamento Visual (auxílios visuais através de cores e símbolos) para facilitação da operação e da manutenção da máquina.

- PADRÕES DE SEGURANÇA E MEIO-AMBIENTE: Explica os acessórios necessários às máquinas para garantia dos padrões de segurança dos operadores e do meio-ambiente.

- REDUÇÃO DE CUSTOS DE INSTALAÇÃO: Define critérios de projeto das máquinas para redução dos seus custos de instalação, assim como evitar-se a necessidade de fundações, a definição dos pontos de içamento da mesma, dimensões máximas dos módulos da máquina, etc.

- UNIFORMIDADE DA DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA E TREINAMENTO: Define o padrão a ser seguido na documentação que acompanha a máquina, a fim de facilitar a consulta à mesma, facilitar o treinamento dos operadores e manutencistas, sua atualização, e garantir a presença de todas as informações necessárias a estas atividades de operação e manutenção. Define também o formato do treinamento a ser dado aos funcionários.

- DISPONIBILIDADE DE UTILIDADES/ CONDIÇÕES AMBIENTAIS NO LOCAL DE INSTALAÇÃO: Especifica as facilidades disponíveis na fábrica, para a instalação dos novos equipamentos, tais como tensão e frequência elétrica, potência instalada disponível, sistemas de refrigeração por água industrial, sistema de exaustão, layout disponível, presença de docas para descarga, tamanho das portas, temperatura e umidade, etc.

A seguir descreveremos como foram obtidos os índices citados no corpo da especificação:

REGIME DE TRABALHO: 235 DIAS/ ANO; 21,5 H/ DIA: Este é o regime de trabalho atual da fábrica, que deverá ser seguido no novo projeto.

MANUTENÇÃO PREVENTIVA/ PREDITIVA: 12 MIN/ DIA: Este é o tempo reservado aos operadores para a realização da manutenção preventiva em seus equipamentos.

PRODUÇÃO REQUERIDA: 450.000 PEÇAS/ ANO: É o volume de vendas projetado para o produto.

PORCENTAGEM DE TEMPO NÃO PRODUTIVO: 5,7%: É o tempo reservado aos operadores para realizar tarefas não ligadas diretamente à produção, tais como preenchimento de relatórios, melhorias nas condições de trabalho, ir ao banheiro, etc.

DISPONIBILIDADE REQUERIDA: > 99,6%: Este índice foi calculados da seguinte forma:

- Disponibilidade desejada da linha inteira: 92%

- Número de máquinas automáticas na linha: 16

- Número de máquinas semi-automáticas na linha: 5

- Total de máquinas na linha: 21

Em uma linha de fabricação em série, sem estoques intermediários, a Disponibilidade da linha como um todo corresponde à multiplicação das Disponibilidades de todas as máquinas que a compõem [O'Connor 85]. Logo, a Disponibilidade de cada máquina poderá ser representada, para efeito de cálculo, como sendo a raiz n -ésima da Disponibilidade da linha, sendo n o número de máquinas da linha. Estamos considerando aqui que todas as máquinas possuem a mesma disponibilidade. Como temos 21 máquinas na linha:

$$A_{mdq.} = \sqrt[21]{0.92} = 0.996 = 99.6\%$$

onde, $A_{mdq.}$ = Disponibilidade/ máquina

CAPABILIDADE (CURTO PRAZO): PP, PPK >= 1,67: Estes índices nos garantem estatisticamente uma quantidade máxima de 233 defeitos por milhão (ver tópico

onde: $\bar{\sigma}_{maq.}$ = índice de qualidade por máquina

$$\bar{\sigma}_{maq.} = \sqrt[2]{0.97} = 0.9985 = 99.85\%$$

ÍNDICE DE QUALIDADE DA OPERAÇÃO: > 99,85%: A meta de qualidade para a linha como um todo é de 97% de peças produzidas dentro das especificações. Considerando, assim como na Disponibilidade, o índice da linha como multiplicação dos índices das máquinas (uma vez que só pode ser refugado em uma máquina o que não foi refugado nas operações anteriores), temos:

o que nos leva a um MTBF de 250h para máquinas automáticas e de 125h para máquinas semi-automáticas.

$$MTBF = \frac{1 - A_{maq.}}{A_{maq.} \cdot MTTR}$$

Assim,

$$A_{maq.} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

EQUIPAMENTO AUTOMÁTICO: MTBF > 250 H; EQUIPAMENTO SEMI-AUTOMÁTICO: MTBH > 125 H: Assumindo um tempo médio de reparo MTTR = 1h para máquinas automáticas e MTTR = 0,5h para máquinas semi-automáticas, e uma Disponibilidade de 99,6%:

Portanto, assumimos como especificação a meta de Disponibilidade de 99,6% por máquina.

sobre Seis-Sigma), de uma dada característica, o que representa que o processo é estável suficiente para ser controlado através de uma carta estatística.

VIDA ÚTIL DO EQUIPAMENTO: MIN. 8 ANOS: Este é o tempo estimado de produção do produto a que se destina o equipamento.

7.2. Análise da Cotação Técnica

Nas próximas páginas, encontra-se a Matriz de Seleção pelo método AHP apresentado, aqui chamado simplificadaamente de Análise da Cotação Técnica, contendo a análise das propostas técnicas apresentadas pelos fornecedores.

Foram cotadas cinco empresas para a realização do serviço. Selecionou-se as cotações de dois desses fornecedores para exemplificar este estudo de caso, com base na qualidade das informações apresentadas. O primeiro deles, aqui identificado como Fornecedor 1, trata-se de uma empresa multinacional de grande porte, com representação em vários países, e uma equipe de engenharia muito bem estruturada. Além disso, possui a vantagem de conhecer detalhadamente o projeto do equipamento a ser automatizado, por ser a fabricante do mesmo. O segundo fornecedor apresentado, chamado aqui de Fornecedor 2, é uma empresa de médio porte, nacional, porém especializada nesse tipo de fornecimento. Também possui uma engenharia muito bem estruturada, e costuma fornecer equipamentos de ótima qualidade. Os demais fornecedores são empresas menores do tipo familiar, com o departamento de engenharia formado pelos próprios donos, que tem a vantagem de possuir grande experiência de projeto devido à grande diversificação de serviços prestados.

O primeiro trabalho a ser feito é determinar os critérios através dos quais os equipamentos serão julgados, e determinar os pesos relativos (ponderações de importância) entre eles.

A tab. 7.1. lista os grupos de critérios de seleção, e suas inter-relações:

Na tab. 7.2., esses grupos são detalhados em itens menores, porém mantendo o mesmo peso relativo em relação aos itens de outros grupos. É feita apenas uma normalização dos pesos, para que estes nos dêem a importância relativa na forma de porcentagem. O julgamento dos equipamentos quanto ao padrão estabelecido foi feito segundo o critério de notas de 0 a 4, como exposto na teoria.

Determinação dos Pesos Relativos entre os Critérios de Avaliação

Critério de Comparação:	
1	Igual importância
3	Importância Moderada
5	Forte Importância
7	Importância muito forte
9	Extrema importância
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Comparação em pares dos Grupos de Critérios:

	1	2	3	4	5	6	7	8	Pesos dos Grupos	
									Total	Normaliz.
1 Fornechimento:	1.0000	2.0000	0.1111	0.1429	0.1429	0.1429	0.2000	5.0000	8.74	0.05
2 Auxílios na Operação e Manutenção:	0.5000	1.0000	0.1111	0.1429	0.1429	0.1429	1.0000	5.0000	8.04	0.05
3 Segurança:	9.0000	9.0000	1.0000	2.0000	2.0000	5.0000	7.0000	9.0000	44.00	0.26
4 Ergonomia:	7.0000	7.0000	0.5000	1.0000	0.3333	1.0000	2.0000	7.0000	25.83	0.15
5 Segurança Ambiental:	7.0000	7.0000	0.5000	3.0000	1.0000	7.0000	7.0000	9.0000	41.50	0.24
6 Qualidade:	7.0000	7.0000	0.2000	1.0000	0.1429	1.0000	3.0000	7.0000	26.34	0.16
7 Manutenção/ Disponibilidade:	5.0000	1.0000	0.1429	0.5000	0.1429	0.3333	1.0000	5.0000	13.12	0.08
8 Informações da Cotação	0.2000	0.2000	0.1111	0.1429	0.1111	0.1429	0.2000	1.0000	2.11	0.01
Total:	36.70	34.20	2.68	7.93	4.02	14.76	21.40	48.00	169.68	1

Tab. 7.1. – Pesos relativos entre os Critérios de Avaliação

Análise da Cotação Técnica

Descrição:

Automação da op. XX - 2 eixos, c/ alimentação manual

Pedido:

(**) Avaliação	Definição	Pts
Inadequado	Não atende especificações	0
Fraço	Atende parcialmente	1
Satisfatório	Atende satisfatoriamente	2
Bom	Atende com algumas vantagens	3
Excelente	Excede as expectativas	4

Item	Descrição dos Requisitos Técnicos	Pesos dos Critérios	Pesos Normaliz.	REFERENCIA		FORNECEDOR 1			FORNECEDOR 2				
				Atende/ Não Atende	Comentários	Atende/ Não Atende	Comentários	Aval. (*)	Total	Atende/ Não Atende	Comentários	Aval. (*)	Total
1 Fornecimento:													
1.1	Prazo de Aceleração final em funcionamento	0,05	0,012	06/Agosto/202		52 semanas após pedido (negociável)		0	0,000	150 dias após pedido colocado		2	0,024
1.2	Garantia: mín. 1 ano pós início de produção mais extensão por 3 meses por falha de Disponibilidade (ou outra opção de garantia)	0,05	0,012	discutível (outras opções de garantia)		12 meses após entrega / 15 meses após entrega		1	0,012	12 meses após job1 ou 15 meses após entrega		2	0,024
2 Auxílios na Operação e Manutenção:													
2.1	Tempo de ciclo	0,05	0,012	< 36s		atende		2	0,024	atende		2	0,024
2.2	Sistema (automático ou não) de prevenção ou contenção de falhas de manutenção, produção e operação. (poke-yoke)	0,05	0,012	onde possível, deve ser analisado no projeto		atende		2	0,024	atende		2	0,024
2.3	Sistema de diagnose de falhas (máq. c/ PLC/CNC)ou indicador de ativação dos sensores (máq. manuais)	0,05	0,012	mín. possibilidade de instalação		instalação possível		1	0,012	possui		2	0,024
3.4	Indicações visuais para auxílio na oper. e manut. do equipamento, cont. manual de gerenciamento visual	0,05	0,012	mandatório		atende		2	0,024	atende		2	0,024
2.5	Sistema de troca-tábua para ferramenta/ dispositivos, p/ facilitar operação, manutenção e reduzir setup	0,05	0,012	mandatório		atende		2	0,024	atende		2	0,024
2.6	Sistema de gerenciamento automático da operação com controles de eventos de manutenção e produção	NA		possibilidade de instalação		NA			0,000	NA			0,000
2.7	Sistema de fixação de ferramentas adequado ao tipo de operação.	NA		deve ser discutido c/ engenharia		NA			0,000	NA			0,000
2.8	Sistema de limpeza de cone de fixação de ferramenta. Preferencialmente através de jato de água.	NA		mandatório, onde aplicável		NA			0,000	NA			0,000
3	Segurança:												

Tab. 7.2. – Análise da Cotação Técnica

Item	Descrição dos Requisitos Técnicos	Passos dos Critérios	Pesos Normaliz	REFERENCIA		FORNECEDOR 1		FORNECEDOR 2		
				Atende/ Não Atende Comentários	Atende/ Não Atende Comentários	Aval. (*)	Total	Atende/ Não Atende Comentários	Aval. (*)	Total
3.1	Proteção mecânica p/ operador e mecânico, durante operação, setup e mant., em qualquer ponto da mão	0.26	0.062	mandatório	atende	2	0.123	atende	2	0.123
3.2	Travamento elétrico para manutenção, procedimentos de emergência e operação, conf. procedimento	0.26	0.062	mandatório	atende	2	0.123	atende	2	0.123
3.3	Sistema de operação passo-a-passo (log model), para facilitar resiliat e manutenção.	0.26	0.062	mandatório	atende	2	0.123	atende	2	0.123
3.4	Manutenção da pressurização hidráulica e pneumática durante queda de energia ou da pressão na tubulação.	0.26	0.062	mandatório	atende	2	0.123	atende	2	0.123
3.5	Bolão de emergência disponível em qualquer posição da máquina	0.26	0.062	mandatório	atende	2	0.123	atende	2	0.123
3.6	Sistema de fixação de ferramentais a prova de queda de energia									
4	Ergonomia:									
4.1	Equipamento permite posição ergonômica durante operação	0.15	0.036	mandatório	atende	2	0.071	atende	2	0.071
4.2	Ferramentas e dispositivos possuem peso, tamanho e ponto de pega adequados para o operador, ou sist. de içamento	0.15	0.036	mandatório	atende	2	0.071	atende	2	0.071
5	Segurança Ambiental:									
5.1	Sistema de exaustão/ coleta de emissões atmosféricas (fêvca, poeira, gases, etc), com enclausuramento da operação	NA		mandatório, onde aplicável	NA		0.000	NA		0.000
5.2	Sistema de proteção contra vazamentos (bandeja de óleo, recipientes de recolhimento)	0.24	0.057	mandatório, onde aplicável	equip. pneumático	2	0.114	equip. pneumático	2	0.114
5.3	Sistema de coleta de cavacos adequado ao tipo, peso e volume	NA		mandatório, onde aplicável	NA		0.000	NA		0.000
5.4	Cálculos de dimensionamento devem ser apresentados	NA		mandatório, onde aplicável	NA		0.000	NA		0.000
5.4	Sist. de filtração de resíduos adequado ao tipo, peso e volume	NA		mandatório, onde aplicável	NA		0.000	NA		0.000
5.5	Cálculos de dimensionamento devem ser apresentados	NA		mandatório, onde aplicável	NA		0.000	NA		0.000
5.5	Meio de filtração (cartucho, tela, etc) ambientalmente seguro. Deve ter aprovação da Engenharia.	NA		mandatório, onde aplicável	NA		0.000	NA		0.000
5.6	Nível de ruído (pressão sonora) conforme determinação	0.24	0.057	mandatório	atende	2	0.114	atende	2	0.114
5.7	Formeça e legislação vigente.	0.24	0.057	mandatório	atende	2	0.114	atende	2	0.114
5.7	Materiais utilizados na construção do equipamento são ambientalmente seguros.									
6	Qualidade:									
6.1	Índice de Qualidade: 99.85% de peças conforme desenho. Pp, Ppk >= 1.67 (curto prazo) para características indicadas.	0.16	0.038	mandatório, salvo exceções apontadas	atende	2	0.076	atende	2	0.076
6.2	Sistema de controle incorporado à operação, c/ detecção e cor-	0.16	0.038	mandatório, salvo	atende	2	0.076	atende	2	0.076

Item	Descrição dos Requisitos Técnicos	Pesos dos Critérios	Pesos Normaliz	REFERENCIA		FORNECEDOR 1		FORNECEDOR 2		
				Atende/ Não Atende Comentários	Atende/ Não Atende Comentários	Aval (°)	Total	Atende/ Não Atende Comentários	Aval (°)	Total
6.3	reção de erros, onde índices de qualidade não são alcançados Possui sistema de compensação de desgaste de ferramentas e detecção de quebra e colisão.	NA		excessos apontadas mandatório, salvo excessos apontadas	NA		0.000	NA		0.000
7 Manutenção/ Disponibilidade:										
7.1	Atendimento às normas construtivas assinaladas pelo Eng de Processos, fornecidas junto à solicitação de orçamento	0.08	0.019	mandatório, salvo excessos apontadas conf. solicitação p/ equip. autom./ manual	atende		0.038	atende	2	0.038
7.2	Disponibilidade (At), MTBF e MTRR de acordo com solicitação de orçamento	0.08	0.019	excessos apontadas conf. solicitação p/ equip. autom./ manual	super. 98,7%	3	0.057	parcial: 99,4%	1	0.019
7.3	Componentes de máquina conforme lista aprovada, ou pronta entrega de peças, com tempo incluído no MTRR	0.08	0.019	MTRR deve refletir disponib. de peças	atende	2	0.038	atende	2	0.038
7.4	Estratégia de Peças de Reposição e Desgaste: venda, consi-g-nação, estoque próprio e/ pronta entrega, etc.	0.08	0.019	prefer. Consignação, informar.	venda e/ pronta entrega	1	0.019	venda e/ pronta entrega	1	0.019
7.5	Desenhos construtivos de itens sem pronta entrega devem ser fornecidos	0.08	0.019	mandatório	atende	2	0.038	atende	2	0.038
7.6	Tempo de Restart (reinício de produção) após queda de energia	0.08	0.019	preferível restart automático	peças remonta e operação	0	0.000	peças remonta e operação	0	0.000
7.7	Sistema de compensação de dilatações mecânicas	NA		preferível	NA		0.000	NA		0.000
7.8	Possibilidade de monitoramento de vibrações e temperaturas dos componentes mecânicos e elétricos	0.08	0.019	preferível	atende	2	0.038	atende	2	0.038
7.9	Possui sistema de lubrificação centralizado.	0.08	0.019	preferível	não requerido pelo tamanho do equip	2	0.038	não requerido pelo tamanho do equip	2	0.038
7.10	Fornecimento de FMEA com 10 maiores problemas analisados.	0.08	0.019	mandatório	fornecimento após pedido colocado	2	0.038	fornecimento após pedido colocado	2	0.038
7.11	Documentação conforme listagem fornecida, sendo 1 e/ cópias na entrega da máquina, mais 2 e/ corrigidas após aprov. final	0.08	0.019	mandatório	atende	2	0.038	atende	2	0.038
7.12	Treinamento de operação e manutenção, teórico e prático, para no mínimo 5 pessoas.	0.08	0.019	mandatório, onde aplicável	atende	2	0.038	atende	2	0.038
8 Informações da Cotação										
8.1	Descrição da máq. e operação, e/ características construtivas e de desempenho, acessórios incluídos e lista de opcionais.	0.01	0.002	mandatório	junto à cotação	2	0.005	junto à cotação	2	0.005
8.2	Acompanhamento de início de produção por 1 semana, ou período combinado	0.01	0.002	mandatório	atende	2	0.005	atende	2	0.005
8.3	Instalações: Pot. Trabalho (KW), Fator de Potência, Tensão de entrada e de comando (V), Frequência (Hz)	0.01	0.002	conforme solicitação de orçamento	conf. equip. atual	2	0.005	conf. equip. atual	2	0.005
8.4	Interfaces de CNC/ PLC disponíveis	0.01	0.002	Informar: Preferível Ethernet e RS232	Ethernet, RS232	2	0.005	Ethernet, RS232	2	0.005

Item	Descrição dos Requisitos Técnicos	Pesos dos Critérios	Pesos Normaliz	REFERENCIA		FORNECEDOR 1		FORNECEDOR 2		
				Atende/ Não Atende Comentários	Atende/ Não Atende Comentários	Aval. (*)	Total	Atende/ Não Atende Comentários	Aval. (*)	Total
8.5	Dimensões e peso do equipamento (larg. X compr. X alt.)	0.01	0.002	preferível não necess- sidade de fundação	1x1x3m (1m2)	2	0.005	1x0.85x3m (0.85m2)	2	0.005
8.6	Indicar necessidade de fundação especial	0.01	0.002	mandatório	sem fundação será realizado	2	0.005	sem fundação será realizado	2	0.005
8.7	Disponibilidade: (300 peças contínuo, ou 3 tumos de 8h em vazio sem falhas)	0.01	0.002	mandatório	será realizado	2	0.005	será realizado	2	0.005
8.8	Capacidade: 125 peças sem defeitos no fabricante e 300 peças após instalação.	0.01	0.002	mandatório	será realizado	2	0.005	será realizado	2	0.005
8.9	Análise de Vibrações e Térmica (mapeamento inicial do equipamento)	0.01	0.002	mandatório	será realizado	2	0.005	será realizado	2	0.005
	Burn-out (20h em potência máxima para detecção de falhas elétricas por "mortalidade infantil")									
TOTAL de PONTOS:		4.22	1.000	(Atenda 100%, total 2)	FORNECEDOR 1	1.915		FORNECEDOR 2	1.924	

7.3. Análise da Cotação Comercial

A seguir são apresentadas as planilhas contendo o cálculo do custo de aquisição dos equipamentos ofertados, e os dados necessários ao cálculo do PTC – Custo Total do Processo. As fórmulas utilizadas nos cálculos de todas as planilhas aqui exibidas se encontram no Apêndice II. A planilha a seguir exibe os valores de custo por unidade tanto das horas-homem utilizados pela empresa, quanto das utilidades consumidas pelos equipamentos de produção. Também estão exibidos os dados de volume e taxas de mercado utilizados. Também aparece o valor da ineficiência operacional (NOS), que representa a porcentagem de tempo em que a linha de produção fica parada, devido à ocupação dos operadores com outras atividades, tais como preenchimento de relatórios, idas ao banheiro, paradas de descanso, pequenas reuniões, etc.

Tab. 7.3 – Parâmetros do Cliente

PARAMETROS DO CLIENTE

Descrição	Parâmetros	Descrição	Parâmetros
tempo de produção estimado do produto	anos	capacidade de produção requerida	450.000 peças/ ano
horas de produção/ dia	horas/ dia	horas de produção/ ano	21.50
total bruto de horas de produção/ ano	dias/ ano	ineficiência operacional - NOS	235.00
taxa de custo de oportunidade anual	horas/ ano	moeda a ser utilizada	5052.50
custo de m. obra de manutenção/ hora	%	taxa de custo de oportunidade anual	5.7
custo de m. obra de operação/ hora	REAL (R\$)	ano base	23
custo de parada de produção/ hora	R\$ / hora	imposto de Renda	940.00
custo do m ² de chão de fábrica	R\$ / hora	taxa de inflação anual	12.00
	R\$ / m ²		700.00
água industrial	R\$ / m ³	água de refrigeração	R\$ / m ³
	0.29		0.45
efluentes	R\$ / m ³		10.00
ar comprimido	R\$ / Nm ³		0.02
eletricidade	R\$ / kWh		0.16
gás natural	R\$ / m ³		0.32
endogás	R\$ / m ³		0.32
propano	R\$ / m ³		0.71
oxigênio	R\$ / m ³		0.00
outros gases	R\$ / m ³		0.00
amônia	R\$ / m ³		2000.00
	%		6
	%		35
			2001

As primeiras planilhas trazem o Custo de Aquisição cotado pelos fornecedores, e os custos associados à instalação dos equipamentos. Esses custos são estimados de acordo com as dimensões e peso da máquina, e as utilidades necessárias ao seu funcionamento. Também estão sendo mostrados parâmetros relativos a Disponibilidade, tempo de ciclo, e outros dados da máquina que serão usados no cálculo do Custo Total do Processo.

7.3.1. Custo de Aquisição

CUSTO DE AQUISIÇÃO	Descrição	Fornecedor:		Fornecedor: 1										Obs. Fornecedor		
		Parâmetros (total/ ano)		ICMS		IPV ISS		PIS/ Cofins		I. Import.		Total				
		semanas	qt'd	%	\$	%	\$	%	\$	%	\$	\$				
Fornecimento	prazo de entrega da máquina	52	1													
	no. de máq. coladas p/ meia de produção		1													
	extensão de garantia por		0													
	extensão de garantia por		0													
	Investimento em equipamentos (total)															
	custo de garantia adicional		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	0	0	0
	preço de compra de máquina básica (padrão)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	0	0	0
	engenharia de desenvolvimento de máq. especial		30.818	8,8	2.974	5,0	1.690	3,65	1.125	0	0	36.606				
	equipamentos mecânicos especiais		32.881	8,8	3.173	5,0	1.803	3,65	1.200	0	0	39.057				
	sistema de transporte de peças especial		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	equipamentos elétrico/ eletrônicos especiais		33.356	8,8	3.219	5,0	1.829	3,65	1.218	0	0	39.621				
	equip. hidráulico especial		4.181	8,8	403	5,0	229	3,65	153	0	0	4.986				
	equip. pneumático especial		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	sistema lubrificação especial		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	sistema refrigeração especial		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	especi./ requerimentos especiais consultivos		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	custo de equipamentos adicionais (especificar)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	Investimento em manutenção (total)															
	jogo de peças de desgaste (p/ 1 ano de uso)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	jogo de peças de reposição (p/ 1 ano de uso)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	jogo de peças stand-by (se requerido)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	Investimento em ferramentas (total)															
	ferramentas percutíveis (p/ 1 ano de uso)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	dispositivos/ ferramentas especiais		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	Outros investimentos (total)															
	software/ programação		16.766	8,8	1.618	5,0	919	3,65	612	0	0	19.915				
	construção		27.044	8,8	2.609	5,0	1.483	3,65	987	0	0	32.123				
	instalação		11.836	8,8	1.142	5,0	649	3,65	432	0	0	14.059				
	treinamento		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	documentação		2.960	8,8	286	5,0	162	3,65	108	0	0	3.516				
	transporte e embalagem		1.485	8,8	143	5,0	81	3,65	54	0	0	1.764				
	assistência em lançamento		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	1 semana de suporte em produção normal		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	fabricação de protótipos (se requerido)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0				
	Custo de Aquisição - Sub-Total		161.327		15.567		8.845		5.888		0	191.627				

Incluso no Item Instalação

Tab. 7.4 - Custo de Aquisição e Custos Associados - Fornecedor 1:

CUSTO ASSOCIADOS

Descrição	Parâmetros (total/ ano)	ICMS		IPI/ISS		PIS/ Cofins		I. Import.		Total	Obs. Fornecedor
		%	\$	%	\$	%	\$	%	\$		
Custos internos de Instalação (total)											
hidráulica/pneumática/refrigeração	2,000		0		0		0		0	2,000	
saída de cavacos/ exaustão	0		0		0		0		0	0	
elétrica	0		0		0		0		0	0	
fundação	0		0		0		0		0	0	
ocupação de piso	700		0		0		0		0	700	
Custos Internos de Instalação Total	2,700		0		0		0		0	2,700	
Custo de Transporte/ Movimentação Interna (total)											
custo de equipamentos e serviços	0		0		0		0		0	0	
Custo Total de Transporte	0		0		0		0		0	0	
Custos de Lançamento de Programa (internos)											
viagens	0		0		0		0		0	0	
validação	12,000		0		0		0		0	12,000	
miscelânea	0		0		0		0		0	0	
Custos de Lançamento - Total	12,000		0		0		0		0	12,000	
Total de Investimentos	R\$176,027		\$ 15,567		\$ 8,845		\$ 5,888		\$ 0	R\$206,327	

Condições comerciais

forma de pagamento (a vista/ financ./ leasing/ etc.)
 parcelas antes da aceitação
 entrada
 no. de prestações
 valor das prestações
 taxa de juros mensais
 resíduo

Financiamento disponível
 10% pedido, 30% aprov. Projeto; 50% entrega (30dd), 10% aprov.

PARAMETROS ESPECIFICOS DA MAQUINA		Parâmetros (por máquina)	Obs. Fornecedor
Aspectos de R&M E Capacidade Produtiva			
tempo médio entre falhas (MTBF)	horas	352.0	
tempo médio para reparo (MTR)	horas	1.00	
disponibilidade (A)	%	99.72	
índice de qualidade da máquina	%	99.50	
tempo médio para troca de ferramentas/ dia	horas/ dia	0.00	
tempo médio para preparação da máquina (setup)	horas/ dia	0.20	
tempo de ciclo (100%) - incl. alimentação da máquina	min/ peça	0.5000	
capacidade de produção da máquina (100%)	peças/hora	120.0	
Dados da Máquina			
no. de operadores por máquina	qtd	1	
valor da máquina no fim de vida do produto: (8 anos)*	\$	40,700	
peso da máquina	kg	300	
espaço ocupado pela máquina	m²	1.00	
vida estimada do equipamento	anos	12	

* considerar depreciação linear de 10% ao ano

Descrição	Fornecedor:	Parâmetros		ICMS		IPI/ISS		PIS/COFINS		I. Import.		Total	Obs. Fornecedor
		total/ ano)	%	\$	%	\$	%	\$	%	\$			
											semanas		
Fornecimento													
prazo de entrega da máquina		40											
no. de máq. cotadas p/ meta de produção		1											
exatidão de garantia por		0											
Investimento em equipamentos (total)													
custo de garantia adicional		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
preço de compra de máquina básica (padrão)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
engenharia de desenvolvimento de máq. especial		17.040	8,8	1.644	5,0	934	3,65	622	0	0	0	20.240	
equipamentos mecânicos especiais		23.417	8,8	2.260	5,0	1.284	3,65	855	0	0	0	27.815	
sistema de transporte de peças especial		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
equipamentos elétrico/ eletrônicos especiais		33.215	8,8	3.205	5,0	1.821	3,65	1.212	0	0	0	39.453	
equip. hidráulico especial		4.035	8,8	389	5,0	221	3,65	147	0	0	0	4.793	
equip. pneumático especial		7.365	8,8	711	5,0	404	3,65	269	0	0	0	8.748	
sistema lubrificação especial		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
sistema refrigeração especial		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
especif/ requerimentos especiais construtivos		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
custo de equipamentos adicionais (especificar)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
Investimento em manutenção (total)													
logo de peças de desgaste (p/ 1 ano de uso)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
logo de peças de reposição (p/ 1 ano de uso)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
logo de peças stand-by (se requerido)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
Investimento em ferramentas (total)													
ferramentas perecíveis (p/ 1 ano de uso)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
dispositivos/ ferramentas especiais		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
Outros investimentos (total)													
software/ programação		7.250	8,8	700	5,0	397	3,65	265	0	0	0	8.612	
construção		13.418	8,8	1.295	5,0	736	3,65	490	0	0	0	15.938	
instalação		8.759	8,8	845	5,0	480	3,65	320	0	0	0	10.404	
treinamento		2.300	8,8	222	5,0	126	3,65	84	0	0	0	2.732	
documentação		3.200	8,8	309	5,0	175	3,65	117	0	0	0	3.801	
transporte e embalagem		1.415	8,8	137	5,0	78	3,65	52	0	0	0	1.681	
assistência em lançamento		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
1 semana de suporte em produção normal		4.700	8,8	454	5,0	258	3,65	172	0	0	0	5.583	
fabricação de protótipos (se requerido)		0	8,8	0	5,0	0	3,65	0	0	0	0	0	
Custo de Aquisição - Sub-Total		126.114		12.169		6.914		4.603		0		149.800	

Incluso no item Instalação

Tab. 7.5 - Custo de Aquisição e Custos Associados - Fornecedor 2:

CUSTO ASSOCIADOS											
Descrição	Parâmetros (total/ ano)	ICMS		IPI/ISS		PIS/CoFins		I. Import.		Total	Obs. Fornecedor
		%	\$	%	\$	%	\$	%	\$		
Custos internos de Instalação (total)											
hidráulica/pneumática/refrigeração	2.000		0		0		0		0	2.000	
saída de cavacos/ exaustão	0		0		0		0		0	0	
elétrica	0		0		0		0		0	0	
fundação	0		0		0		0		0	0	
ocupação de piso	595		0		0		0		0	595	
Custos Internos de Instalação Total	2.595		0		0		0		0	2.595	
Custo de Transporte/ Movimentação Interna (total)											
custo de equipamentos e serviços	0		0		0		0		0	0	
Custo Total de Transporte	0		0		0		0		0	0	
Custos de Lançamento de Programa (internos)											
viagens	5.300		0		0		0		0	5.300	
validação	12.000		0		0		0		0	12.000	
miscelânea	0		0		0		0		0	0	
Custos de Lançamento - Total	17.300		0		0		0		0	17.300	
Total de Investimentos	R\$146,009		\$ 12.169		\$ 6.914		\$ 4.603		\$ 0		R\$169,695

Condições comerciais

forma de pagamento (a vista/ financ./ leasing/ etc.)
 parcelas antes da aceitação
 entrada
 no. de prestações
 valor das prestações
 taxa de juros mensais
 resíduo

a vista
 15% pedido; 35% aprov. Projeto; 40% entrega (30dd); 10% aprov.

As próximas planilhas exibem os cálculos do Custo Anual de Produção, com base nos dados fornecidos pelos fornecedores. Esses custos estão divididos em custos de Manutenção e Operação, Ferramental, e Consumíveis e Utilidades.

Os custos de manutenção e operação são formados pelo valor gasto anualmente em material (peças de desgaste e reposição) e mão de obra, tanto para manutenção corretiva (no caso de quebra da máquina), quanto na preventiva e preditiva. Também estão computados os valores relativos à parada de produção devido às quebras, e os custos de reabilitação (reforma) do equipamento. Este último não é lançado como custo anual, entrando diretamente no cálculo do PTC, na frequência indicada. Custos referentes à imobilização do capital investido em inventário de peças e ferramentas, custos de mão de obra de operação, também estão ai representados.

Os custos de ferramental são formados pelo custo da compra de ferramentas produtivas (insertos, rebolos, fresas, ferramentas de estampagem, etc) e da afiação ou recondicionamento das mesmas. Também pensou-se em computar os custos de mão de obra de troca de ferramenta na máquina, porém estes se mostraram não representativos, devido à sua pequena ordem de grandeza.

7.3.2. Custo Anual de Produção

PARAMETROS ESPECIFICOS DA MAQUINA		Obs. Fornecedor
Aspectos de R&M E Capacidade Produtiva		
tempo médio entre falhas (MTBF)	horas	176.0
tempo médio para reparo (MTTR)	horas	1.00
disponibilidade (A)	%	99.44
índice de qualidade da máquina	%	99.50
tempo médio para troca de ferramentas/ dia	horas/ dia	0.00
tempo médio para preparação da máq./ dia (setup)	horas/ dia	0.20
tempo de ciclo (100%) - incl. alimentação da máq.	min/ peça	0.5333
capacidade de produção da máq. (100%)	peças/hora	112.5
Dados da Máquina		
no. de operadores por máq.	qtd	1
valor da máq. no fim de vida do produto: (6 anos)*	\$	34,000
peso da máquina	kg	250
espaço ocupado pela máq.	m²	0.85
vida estimada do equipamento	anos	10

* considerar depreciação linear de 10% ao ano

Nos custos de consumíveis e utilidades estão computados os custos relativos à utilização de fontes de energia e seus meios, tais como água, eletricidade, ar comprimido e gases. Também aí aparecem os gastos com óleos, lubrificantes, outros fluidos, e custos referentes a resíduos de filtragem de fluidos e de sólidos gerados durante o processo.

Tab. 7.6. – Custos Anuais do Processo – Fornecedor I:

MANUTENÇÃO & OPERAÇÃO		Fornecedor:		Fornecedor 1	
Descrição	Parâmetros (p/ máquina)	\$/ano	\$/ano	Obs. Fornecedor	
Manutenção - Material manutenção corretiva - material/ ano manutenção preventiva - material/ ano manutenção preditiva - material/ ano	\$/ ano \$/ ano \$/ ano	8,700 5,720 8,700	8,700 5,720 8,700		
Manutenção - Mão de Obra Indireta manutenção corretiva - m. obra manutenção preventiva - m. obra manutenção corretiva - parada de prod. manutenção preventiva - m. obra manutenção preditiva - m. obra	horas/ ano horas/ ano \$/ ano horas/ ano horas/ ano	6 52 24 40 5	6 52 24 40 5	126 5,640 1,092 504	
Manutenção - Reabilitação do equip. tempo de reabilitação do equipamento reabilitação necessária a cada custo de reabilitação do equipamento	horas/ reabil. anos	40 5	40 5		
Custos de Inventário \$ estoque - ferramentas (na planta) \$ estoque - peças de reposição (na planta) custo do inventário por ano	\$ \$ \$	0 5,720	0 5,720	1,316	
M. Obra Direta - Operação da Máquina horas de m. de obra de operador de máq.	min. / ano	225,000	225,000	45,000	
FERRAMENTAL Custo do Ferramental vida da ferramenta por afiação no. de afiações por ferramenta custo por afiação custo de jogo de ferramental no. de jogos de ferram. requeridos por ano custo anual de ferramental - total custo de ferram. manuais especiais/ ano	peças/ afiaç. qtd \$ \$/ jogo qtd/ ano \$/ ano	500,000 1 0,00 200 1 0	500,000 1 0,00 200 1 0	180 0	
Mão de Obra Direta custo de m. obra de troca de ferramenta	horas/ troca	0,00	0,00	0	DESPREZAR

CONSUMIVEIS/ UTILIDADES

Utilidades

água industrial
 água de refrigeração
 efluentes
 ar comprimido
 eletricidade (em vazio)
 eletricidade (em trabalho)

m³/hora
 m³/hora
 m³/hora
 m³/hora
 m³/hora
 m³/hora
 m³/hora
 m³/hora
 m³/hora
 m³/hora
 m³/hora
 kW
 kW

0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 314
 14,719

Consumíveis

liq. refrigerante
 lubrificantes
 óleo hidráulico
 óleo de tempera
 fluidos anticorrosivos
 fluidos de limpeza
 miscelânea:
 - cartucho de filtro
 - movimentação de resíduos
 - custo de descarte de resíduos

\$/ ano
 \$/ ano
 \$/ ano
 \$/ ano
 \$/ ano
 \$/ ano
 \$/ ano
 \$/ ano
 \$/ ano
 \$/ ano
 \$/ ano
 \$/ ano
 \$/ ano
 \$/ ano

0
 0
 150
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0

CUSTO DE PRODUÇÃO ANUAL:

\$

83,460

DESPREZAR

DESPREZAR

DESPREZAR

Tab. 7.7. – Custos Anuais do Processo – Fornecedor 2:

MANUTENÇÃO & OPERAÇÃO		Fornecedor:	
Descrição	Parâmetros (p/ máquina)	\$/ano	Obs. Fornecedor
Manutenção - Material manutenção corretiva - material/ ano manutenção preventiva - material/ ano manutenção preditiva - material/ ano	\$/ ano 4,350 \$/ ano 4,350 \$/ ano 0	12,500 4,350 0	12,500 4,350 0
Manutenção - Mão de Obra Indireta manutenção corretiva - m. obra manutenção preventiva - parada de prod. manutenção preventiva - m. obra manutenção preditiva - m. obra	horas/ ano 12 horas/ ano 40 horas/ ano 30	12 40 30	252 11,280 840 630
Manutenção - Reabilitação do equip. tempo de reabilitação do equipamento reabilitação necessária a cada custo de reabilitação do equipamento	horas/ reabil. 30 anos 5 \$ 62,000	30 5	
Custos de Inventário \$ estoque - ferramentas (na planta) \$ estoque - peças de reposição (na planta) custo do inventário por ano	\$ 0 \$ 4,350	0 4,350	1,001
M. Obra Direta - Operação da Máquina horas de m. de obra de operador de máq.	min. / ano 239,985		47,997
FERRAMENTAL			
Custo do Ferramental vida da ferramenta por afiação no. de afiações por ferramenta custo por afiação custo de jogo de ferramental no. de jogos de ferram. requeridos por ano custo anual de ferramental - total custo de ferram. manuais especiais/ ano	peças/ afiaç. 500,000 qtd 1 \$ 0,00 \$/ jogo 250 qtd/ ano 1 \$/ ano 0		225
Mão de Obra Direta custo de m. obra de troca da ferramenta	horas/ troca 0,00		0
Jogo de Soquetes			0
DESPREZAR			0

		CUSTO DE PRODUÇÃO ANUAL:		91,820 \$		
UTILIDADES	CONSUMIVEIS/ UTILIDADES					
	água industrial	m³/hora			0	
	água de refrigeração	m³/hora			0	
	efluentes	m³/hora			0	
	ar comprimido	Nm³/hora			0	
	eletricidade (em vazio)	KW	5		235	
	eletricidade (em trabalho)	KW	17		12,511	
	gás natural	m³/hora			0	
	endogás	m³/hora			0	
	propano	m³/hora			0	
	oxigênio	m³/hora			0	
	outros gases	m³/hora			0	
	amônia	m³/hora			0	
CONSUMIVEIS	líq. refrigerante	\$/ano			0	
	lubrificantes	\$/ano	0		0	
	óleo hidráulico	\$/ano			0	
	óleo de tempera	\$/ano			0	
	fluidos anticorrosivos	\$/ano			0	
	fluidos de limpeza	\$/ano			0	
	miscelânea:					
	- cartucho de filtro	\$/ano			0	
	- movimentação de resíduos	\$/ano			0	
	- custo de descarte de resíduos	\$/ano			0	
	DESPREZAR	DESPREZAR	\$/ano			0
	DESPREZAR	DESPREZAR	\$/ano	0		0
	DESPREZAR	DESPREZAR	\$/ano			0

7.4. Cálculo do PTC e da Capacidade

Aqui estão as planilhas de cálculo do PTC – Custo Total do Processo, dos equipamentos ofertados, e de cálculo da Capacidade de Produção Líquida dos equipamentos fornecidos.

7.4.1. Custo Total do Processo (PTC)

As planilhas a seguir trazem o cálculo do fluxo total de caixa, contabilizado durante o período em que o produto é produzido (vida do produto), considerando-se o investimento inicial (custos de aquisição), os custos anuais de produção, os reinvestimentos que se fizerem necessários para a manutenção da produção até o fim de vida do produto, o valor residual dos equipamentos no fim do período considerado, e o desconto de Imposto de Renda relativo a arrendamentos (leasings ou alugueres) dos equipamentos, quando realizados. A planilha traz ainda o cálculo de parcelas de empréstimo pelo método price de pagamentos constantes.

O Custo Total do Processo (PTC) é representado pelo Valor Atual (ou Valor Presente) do Fluxo de Caixa, calculado com referência à data de início de produção do produto, com períodos anuais. A previsão de inflação anual também se faz presente.

PTC - CUSTO TOTAL DO PROCESSO

Valores em: REAL (R\$)

Vida estimada do Produto 8 anos
 Vida Útil do Equipamento: 12 anos
 Custo de Aquisição: 206,326.88
 Custo Anual de Produção: 83,459.78
 Valor equip. no fim de vida do produto: 40,700.00
 Custo de Oportunidade (anual): 23%
 Taxa de Inflação (anual): 6%
 Imposto de Renda: 35%
 Valor de reabilitação do equip.: 40,000.00
 a cada: 5 anos

FINANCIAMENTO (tab. Price)		ARRENDAMENTO	
Valor financiado:	100,000.00	No. de parcelas de Arrendamento:	
Juros anuais de Empréstimo:	14%	Parcela mensal do Arrendamento:	
no. de parcelas de empréstimo:	48	Valor de Resíduo (Leasing):	
Parcela mensal do Empréstimo:	2,732.65	Pagamento Anual:	0,00
Pagamento Anual:	32,791.77	Desconto anual de IR:	0,00

Período	Início de Produção (Ref. PTC)												
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(+) Investimento Capital Próprio			106,327										
(+) Amortização financ./ arrendam.				32,792	32,792	32,792	32,792	32,792	32,792	32,792	32,792	32,792	32,792
(+) Custo Anual de Produção				83,460	83,460	83,460	83,460	83,460	83,460	83,460	83,460	83,460	83,460
(-) Desconto IR (Arrendamento)													
(-) Valor Residual de fim de vida												40,700	
(5) Fluxo de Caixa	0	0	106,327	123,227	139,620	138,457	146,765	165,217	118,389	125,493	68,153	0	0

PTC - Custo Total do Processo (Valor Atual): **R\$566,721.04**

Tab. 7.8. - Custo Total do Processo (PTC) - Fornecedor 1:

PTC - CUSTO TOTAL DO PROCESSO

Valores em: REAL (R\$)

Vida estimada do Produto: 8 anos
 Vida Útil do Equipamento: 10 anos
 Custo de Aquisição: 169.695,20
 Custo Anual de Produção: 91.820,49
 Valor equip. no fim de vida do produto: 34.000,00

Custo de Oportunidade (anual): 23%
 Taxa de Inflação (anual): 6%
 Imposto de Renda: 35%
 Valor de reabilitação do equip.: 62.000,00
 a cada: 5 anos

FINANCIAMENTO (tab. Price)		ARRENDAMENTO	
Valor financiado:		No. de parcelas de Arrendamento:	
Juros anuais de Empréstimo:		Parcela mensal do Arrendamento:	
no. de parcelas de empréstimo:		Valor de Resíduo (Leasing):	
Parcela mensal do Empréstimo:	0,00	Pagamento Anual:	0,00
Pagamento Anual:	0,00	Desconto anual de IR:	0,00

FALSE

Período	Início de Produção (Ref: PTC)												
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(+) Investimento Capital Próprio			169.695					62.000					
(+) Amortização financ./ arrendam.													
(+) Custo Anual de Produção				91.820	91.820	91.820	91.820	91.820	91.820	91.820	91.820	91.820	
(-) Desconto IR (Arrendamento)													
(-) Valor Residual de fim de vida											34.000		
(S) Fluxo de Caixa	0	0	169.695	97.330	103.170	109.360	115.921	205.847	130.249	136.064	92.157	0	0

PTC - Custo Total do Processo (Valor Atual): **R\$587,168.38**

Tab. 7.9. - Custo Total do Processo (PTC) - Fornecedor 2:

7.4.2. Cálculo da Capacidade Líquida de Produção

As planilhas abaixo trazem o cálculo da capacidade líquida de produção dos equipamentos ofertados. Elas se baseiam no total de horas líquido trabalhadas no ano (descontados os tempos não-operacionais, troca de ferramenta e setup), e no cálculo da disponibilidade e índice de rejeitos por qualidade. As premissas para o cálculo é que não haja queda de eficiência (velocidade, ou aumento do tempo de ciclo) do equipamento, considerando que as trocas de ferramentas e setup estão adequados à manutenção do tempo de ciclo, e que as ferramentas e suas velocidades de corte, profundidade e avanço, estão adequadamente calculadas para o custo mínimo do processo (menor custo por peça), ou seja, buscam maximizar a vida da ferramenta, dentro do tempo de ciclo estipulado.

Tab. 7.10. – Capacidade de Produção

a) Fornecedor 1:

CAPACIDADE DE PRODUÇÃO

Descrição		Parâmetros (por máquina)	
Total de horas disponíveis por ano	5,053	horas/ ano	%
% Tempo não operacional	5,70	%	
Tempo Médio para trocar ferram.	0,00	horas	
Tempo Médio entre trocas ferram.	5,614	horas	
Tempo de preparação (Setup)	47	horas/ ano	
HORAS DISPONÍVEIS LÍQ.		4,718	horas/ ano
cycletime (100%)	0,5000	min/ peça	
capac. de prod. da máq. (100%)	120,0	peças/ hora	
Disponibilidade (A):	99,72	%	
Índice de qualidade da máquina	99,50	%	
CAPACIDADE LÍQUIDA MÁQ.		111,2	peças/ hora
CAPACIDADE LÍQUIDA TOTAL:		111,2	peças/ hora
CAPACIDADE REQUERIDA:		89,1	
DIFERENÇA: +/(-)		22,1	peças/ hora

b) Fornecedor 2:

CAPACIDADE DE PRODUÇÃO

Descrição		Parâmetros (por máquina)	
Total de horas disponíveis por ano	5,053	horas/ ano	%
% Tempo não operacional	5,70	%	
Tempo Médio para trocar ferram.	0,00	horas	
Tempo Médio entre trocas ferram.	5,614	horas	
Tempo de preparação (Setup)	47	horas/ ano	
HORAS DISPONÍVEIS LÍQ.		4,718	horas/ ano
cycletime (100%)	0,5333	min/ peça	
capac. de prod. da máq. (100%)	112,5	peças/ hora	
Disponibilidade (A):	99,44	%	
Índice de qualidade da máquina	99,50	%	
CAPACIDADE LÍQUIDA MÁQ.		103,9	peças/ hora
CAPACIDADE LÍQUIDA TOTAL:		103,9	peças/ hora
CAPACIDADE REQUERIDA:		89,1	
DIFERENÇA: +/(-)		14,9	peças/ hora

Essas notas foram dadas em relação à expectativa do Engenheiro, representada pelos valores colocados na coluna Referência. Essa coluna representa a condição ideal daquele quesito para o processo.

4	Excede as expectativas	Excelente
3	Atende com algumas vantagens	Bom
2	Atende satisfatoriamente	Satisfatório
1	Atende parcialmente	Fraco
0	Não atende especificações	Inadequado
Pts	Definição	Avaliação

Tab. 7.11. – Notas de Avaliação dos equipamentos

Nesse primeiro item temos a planilha da análise técnica montada com os dados dos dois fornecedores apresentados. Inicialmente foram definidos pelo Engenheiro de Processo os critérios técnicos a serem considerados na análise das cotações. A seguir, o Engenheiro definiu os pesos de cada critério, de acordo com sua importância relativa (método AHP).

A classificação (nota) dos fornecedores em cada quesito seguiu o seguinte critério:

7.5.1. Análise da Cotação Técnica

Nos tópicos seguintes, 7.2. a 7.4., expôs-se os dados obtidos dos fornecedores e os cálculos necessários à análise do melhor negócio. Vamos agora analisar esses dados qualitativamente, a fim de chegarmos à solução do nosso problema.

No tópico 7.1. foi exposto como foi feita a Especificação do equipamento, e após isso se explicou como se chegou a tal especificação.

7.5. Conclusão: Análise do melhor negócio

A somatória final, ponderada pelos pesos definidos, representa a qualidade da proposta técnica apresentada. Esse resultado final deve ser analisado com cuidado, verificando quais os itens não atendidos pelo fornecedor, e se há a possibilidade de negociação junto ao mesmo, principalmente nos itens mandatórios. À rigor, o não atendimento de qualquer dos quesitos obrigatórios desclassificaria o fornecedor da disputa.

A pontuação obtida foi a seguinte:

a) Fornecedor 1:

- 1.915 pontos

- não atendeu o quesito Prazo de Entrega/Aceitação

- foi pior classificado no quesito Sistema de Diagnose de Falhas

b) Fornecedor 2:

- 1.924 pontos

- atendeu a todos os quesitos obrigatórios

- apresentou Disponibilidade menor que a especificada.

O Fornecedor 1, consultado pela Engenharia, disse que o prazo de entrega poderia ser negociado para a data requerida, porém precisaria seguir um cronograma de projeto mais apertado. Isso não representaria um custo maior, porém o Engenheiro terá que acompanhar esse processo mais atentamente, caso este fornecedor seja selecionado.

Essa informação somaria os 0,024 pontos perdidos pelo fornecedor à sua pontuação, ultrapassando o Fornecedor 2 em pontos.

O Sistema de Diagnose de Falhas é possível de ser programado, sem custo adicional para o cliente. O período de garantia oferecido tem início na entrega do equipamento, e não no início de funcionamento (como o ofertado pelo Fornecedor 2). Isso representa um custo de garantia de cerca de dois meses. Esse custo deverá ser somado ao Custo Total do Processo do Fornecedor 1.

Já o Fornecedor 2 atendeu a todos os quesitos obrigatórios, porém ofertou uma disponibilidade do equipamento menor que a desejada. Esse custo adicional de

manutenção já esta sendo representado no cálculo do Custo Total do Processo, não devendo, portanto, ser considerado novamente.

Uma observação a ser feita, é que nenhum dos fornecedores cotados aceitou, inicialmente, arcar com a extensão da garantia de 3 meses caso a Disponibilidade do equipamento ofertada não se cumpra na prática. Entretanto, eles aceitaram que seja feito um levantamento dos custos de não cumprimento dessa cláusula, a serem revertidos na forma de peças de reposição e custos de modificação do projeto inicial, até que seja cumprida a meta estabelecida. Na prática, esta situação é mais interessante para a solução do problema de Disponibilidade, pois dirige o foco para sua resolução e compromete o fornecedor na solução da falha de projeto. Este é um item a ser estudado em trabalhos futuros.

A conclusão dessa Análise da Cotação Técnica, é que ambos os fornecedores têm condições técnicas de fornecer o equipamento dentro das especificações colocadas, com pequena vantagem para o Fornecedor 1 quanto à maior Disponibilidade ofertada, porém lembrando que o Fornecedor 2 tem mais condições de fornecer o equipamento dentro do prazo estabelecido.

7.5.2. Análise da Cotação Comercial

Quanto ao **Custo de Aquisição**, o Fornecedor 1 ofertou o equipamento a um custo maior que o Fornecedor 2, em cerca de **22%**:

a) Fornecedor 1:	
• Custo do equipamento:	R\$ 191.627,00
• Custos Associados:	R\$ 14.100,00
• Total:	R\$ 205.727,00

b) Fornecedor 2:	
• Custo do equipamento:	R\$ 149.800,00
• Custos Associados:	R\$ 19.385,00
• Total:	R\$ 169.185,00

Portanto, temos uma vantagem para o Fornecedor 2, com certa distância, ao menos por enquanto. Percebeu-se que os custos mais elevados do Fornecedor 1 devem-se principalmente, a um custo maior nos itens “engenharia de desenvolvimento” e “programação”, que são custos de mão de obra especializada. Isso é característico de empresas de maior porte, por precisarem de uma estrutura de engenharia mais sólida, tanto para conseguir atender a uma maior demanda de serviços, quanto para ter uma maior confiabilidade nas atividades de projeto, o que as leva a ter um custo de reparo menor no cliente.

Vamos agora analisar os **Custos Anuais de Produção** ofertados pelos dois fornecedores.

As planilhas apresentadas para o cálculo dos Custos Anuais de Produção possuem itens que podem ser desprezados no cálculo, dependendo do tipo de equipamento que podem ser desprezados no cálculo, dependendo do tipo de equipamento para o qual foram assinalados como desprezíveis para o cálculo. Nesse estudo de caso, vários itens foram assinalados como desprezíveis para o cálculo, por serem de ordem de grandeza bem inferior em relação aos demais.

Os itens mais significativos (que representaram cerca de 98% do total) foram:

- em primeiro lugar (52% a 54% do total), o custo da mão de obra direta de operação, estimado a partir do tempo de ciclo por peça e do volume produzido no ano.
- em segundo lugar, (17% a 19%), custos de material (peças de reposição) para manutenção preventiva e corretiva.

- em terceiro lugar (14 a 18%), consumo de energia elétrica em trabalho.
- em quarto lugar, parada de produção devido a falha da máquina. Este item foi estimado com base no tempo de máquina parada por quebra (a partir da Disponibilidade ofertada), e no custo horário de parada de produção (estimado através do custo da mão de obra direta, em hora extra, para repor as horas de produção perdidas). Aqui não foram considerados o custo fixo do produto (pois se supõe que será reposido o volume de peças não produzidas) e a perda de lucro (que poderia ter sido gerado pela venda dos produtos que deixaram de ser produzidos).

Os itens menos significativos, que poderiam ser retirados do cálculo, seriam:

- custos de mão de obra de troca de ferramenta, a não ser quando o tempo de troca seja muito elevado, assim como sua frequência de troca.
- consumo de ar comprimido, a não ser em grandes instalações pneumáticas.
- eletricidade em vazio, a menos que o equipamento tenha sistema de acumulação de cargas elevadas.
- líquidos refrigerantes, lubrificantes, fluidos de limpeza, e outros, que a prática e a experiência em cada tipo de equipamento possa indicar o seu descarte.

Nas cotações apresentadas, tivemos os seguintes totais:

a) Fornecedor 1:

- Custo Total Anual: R\$ 83.460
- Custo Total Anual: R\$ 91.820

b) Fornecedor 2:

Esses valores mostram a grande importância de considerarmos os custos relativos à Disponibilidade e à manutenção na avaliação das ofertas, pois se observando as

parcelas que formam o Custo Total Anual, percebemos a maior diferença de custo justamente nesses itens, com um equilíbrio de custos nos demais.

No caso apresentado, o Fornecedor 2, que a princípio representava o melhor negócio por ofertar o equipamento a um custo de aquisição 22% menor, representa anualmente um custo 10% superior ao Fornecedor 1.

Entretanto, ainda não podemos fechar o estudo dando vitória ao Fornecedor 1, pois ainda não consideramos a forma de pagamento, vantagens fiscais, reinvestimentos necessários e valor residual do equipamento no fim de vida do produto, o que será analisado no próximo tópico.

7.5.3. Análise do Custo Total do Processo e Capacidade Líquida

O cálculo do resultado do fluxo de caixa das duas opções de fornecimento resultou nos seguintes valores de Custo Total do Processo:

- a) Fornecedor 1:** • PTC: R\$ 566.721
 - PTC: R\$ 587.168
- b) Fornecedor 2:**

No caso do Fornecedor 1, a esse resultado devemos somar o custo de garantia de cerca de dois meses, que é a diferença apurada em relação ao Fornecedor 2 na análise da cotação técnica. Para calcular essa garantia, temos duas opções: ou pedimos ao fornecedor para cotar esse período adicional, ou realizamos o seguinte raciocínio:

Partindo do princípio de que o período de garantia historicamente representa o tempo necessário para que 10% dos equipamentos em funcionamento, daquele tipo, apresentem alguma falha [O'Connor 85], vamos considerar o seu custo como sendo de 10% do valor do equipamento, sem impostos. Isso representa R\$ 16.133 ao ano, ou cerca de R\$ 2.700 referentes aos dois meses adicionais.

A conclusão a que chegamos, portanto, é que este é um custo irrelevante em relação ao montante do Custo Total do Processo.

Finalizando, checamos a capacidade de produção do equipamento. A capacidade líquida calculada para o Fornecedor 1 é de 111 peças/hora, contra a requerida de 89

peças/ hora, o que atende às especificações. Para o Fornecedor 2, temos uma capacidade de 104 peças/ hora, o que também atende às especificações.

Resumindo os resultados obtidos:

Fornecedor 1	Fornecedor 2
Análise Técnica: 1,939 pontos (*)	1,924 pontos
Custo Total do Processo: R\$ 566.721	R\$ 587.168

(*) considerando a revisão da data de entrega

Portanto, o fornecedor escolhido é o Fornecedor 1, com um custo total de produção cerca de 3,5% menor: uma pequena economia de aproximadamente R\$ 20.000 durante os 8 anos de vida do produto, em relação ao Fornecedor 2, e uma pontuação superior na análise técnica. Devemos lembrar que prevalece para a escolha do fornecedor o Custo Total do Processo (PTC), uma vez que o não cumprimento de uma especificação técnica deve ser transformado em valores monetários. A análise Técnica serve de critério de desempate. Sua principal função é verificar o cumprimento das especificações técnicas, e em um segundo momento, indicar qual proposta cobre melhor todo o conjunto de especificações.

Neste exemplo mostrado (caso real), temos uma diferença muito pequena no valor do PTC, principalmente comparando a diferença entre estes custos (de cerca de R\$ 20.000) com a diferença de custo de aquisição (de cerca de R\$ 37.000 em favor do fornecedor 2), o que dificulta ainda mais a escolha do fornecedor. Nestes casos, cabe também considerar o histórico dos fornecedores em fornecimentos anteriores.

CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho era definir quais requerimentos devem estar presentes na especificação de um equipamento produtivo, e como fazer a sua seleção dentre as várias opções de equipamentos ofertadas pelo mercado, de forma a otimizar os custos de aquisição e de produção, representados pelo Custo Total do Processo.

Foram definidos, através da análise dos formadores do custo do produto, e da teoria de Manufatura Enxuta, quais os requerimentos essenciais de uma boa Especificação de Máquina.

Desenvolveu-se, a partir das teorias já conhecidas (de composição de custos, análises econômica e financeira, e teoria de métodos de avaliação de projetos), um método de análise de cotações técnicas e comerciais, que vem nos auxiliar na seleção da melhor opção de fornecimento de equipamento.

O Estudo de Caso apresentado confirmou a validade da metodologia proposta, provando que se faz necessária uma análise mais profunda das cotações técnicas e comerciais, além da simples comparação entre os custos de aquisição ofertados.

Outro objetivo do trabalho era desenvolver a metodologia de forma a permitir a sua fácil utilização prática, o que foi conseguido através da preparação das planilhas de análise técnica e de cálculo do Custo Total do Processo, utilizando as informações dos próprios fornecedores dos equipamentos, informações estas amarradas às suas ofertas de fornecimento, fazendo parte, portanto, da garantia do equipamento.

Ficam aqui as propostas de futuros trabalhos:

- Uma metodologia de planejamento de um processo produtivo, como um guia prático de Engenharia de Processos de Manufatura, contendo todas as fases do projeto do processo e as ferramentas a serem usadas na otimização dos mesmos;

- Análise de sensibilidade do resultado final do PTC, devido a variações nos Parâmetros do Cliente, tais como variações no volume de produção, variação nos custos de mão de obra, produtos usados na fabricação, e principalmente custos de parada de produção (uma vez que este custo é difícil de ser estimado), etc.
- Desenvolvimento teórico de testes acelerados para aprovação do equipamento, quanto à qualidade e disponibilidade;
- Desenvolvimento de um Manual de Especificações Técnicas de Máquinas, contendo todas as informações adquiridas nesse trabalho, mais as propostas de trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referências Bibliográficas, Notas de Aula e Documentos de Uso Restrito

- [Wu 96] WU, B. Manufacturing Systems Design and Analysis- Context and Techniques. Chapman & Hall, 1996, p.3-12
- [Askin 93] ASKIN, R.G./ STANDRIDGE, C.R. Modeling and Analysis of Manufacturing Systems. John Wiley & Sons Inc.,1993, p.3-12.
- [Amstead 8ª Ed.] AMSTEAD, B.H./ OSTWALD, P.F./ BEGEMAN, M.L. Manufacturing Processes. John Wiley & Sons Inc., 8ª Edição, p.8-9.
- [Gessner 87] GESSNER, ROBERT A. Repetitive Manufacturing Production Planning. John Wiley & Sons Inc.,1987, p.3-23.
- [Luggen 91] LUGGEN, WILLIAN W. Flexible Manufacturing Cells and Systems. New Jersey - EUA, Prentice Hall, 1991, p.4-15
- [Martins 00] MARTINS, ELISEU. Contabilidade de Custos. SP - Brasil, Atlas, 2000, 388p.
- [Ehrlich 89] EHRlich, PIERRE JACQUES. Engenharia Econômica: Avaliação e Seleção de Projetos de Investimento. SP - Brasil, 5ª Edição - Editora Atlas, 1989, 191p.
- [Ford 96] FORD MOTOR COMPANY. Investment Efficiency Metrics - Powertrain. S.B.Campo - SP - Brasil, documento de uso restrito, 1996, 48p.

- [Kidd 95] KIDD, PAUL, T. *Agile Manufacturing - Forging New Frontiers*. Addison-Wesley, 1995, p.9-23, 72-100, 242-260
- [Agostinho 97] AGOSTINHO, OSWALDO LUIZ. *Sistemas de Manufatura - Volume I e II*. UNICAMP, Apostila de Aula, 1997
- [Fioroni 00] FIORONI, MARCELO MORETTI. *Estudo e Análise Comparativa de Características de Arquitetura entre os Sistemas Holônicos de Manufatura e a Manufatura Ágil*. UNICAMP, 2000.
- [Womack 90] WOMACK, J.P./ JONES, D.T./ ROOS, D. *The Machine that Changed the World*. NY - EUA, Rawson Associates, 1990.
- [Ford 99] FORD MOTOR COMPANY - Fairlane Training and Development Center. *FPS for Manufacturing Engineers/ Lean Process Design/ Lean Process Design Tools*. MI - EUA, documento de uso restrito, 1999.
- [Toyota 99] - TOYOTA MOTOR CO. *TPM - Toyota Production System*. Seminário na Ford Brasil - 15/12/1999 - São Bernardo do Campo
- [Pressman 95] PRESSMAN, ROGER S. *Engenharia de Software*. - Tradução de José C. B. dos Santos, Makron Books, SP - Brasil, 1995, 1056p.
- [Gu-Norie 95] GU, P./ NORRIE, D.H. *Intelligent Manufacturing Planning*. Chapman & Hall, 1995, p.1-9.
- [O'Connor 85] O'CONNOR, PATRICK D.T. *Practical Reliability Engineering*. John Wiley & Sons Inc., 1985, 398p.
- [Ford 00] FORD MOTOR COMPANY. *General Equipment Specification Manual*. Taubaté - SP - Brasil, documento de uso restrito, 2000, 350p.

- [ISO 94] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Quality System Requirements - QS-9000**. MI - EUA. 1994. 101p.
- [Hirama 96] HIRAMA, KECHI. **Introdução à Engenharia de Software**. Apostila de Aulas. EPUSP. 1996. 136p.
- [Dieter 00] DIETER, GEORGE. **Engineering Design**. Mc Graw Hill. 2000. p.184-195.
- [Ford 00b] FORD MOTOR COMPANY. **Six-Sigma Training Course**. USA. documento de uso restrito. 2000. 135p.

APÊNDICES

APÊNDICE I.

Análise de Confiabilidade de Centro Flexível de Usinagem:

Segue um exemplo de análise da confiabilidade de um Centro Flexível de Usinagem. Máquinas hoje muito comuns na Indústria Mecânica em geral, e em especial em empresas de auto-peças e montadoras de automóveis. Devido ao seu relativo baixo custo e maior flexibilidade frente aos outros tipos de máquinas de usinagem (dedicadas), e também a seu tipo de projeto - padronizado e modular, um estudo completo desse tipo de máquina é de grande valia em análises de viabilidade de processos de manufatura de peças usinadas:

Consideraremos um modelo de máquina padrão, composta de três eixos (direções de movimento), um cabeçote de usinagem com um único fuso, alimentação manual com transportadores de peças até o ponto de alimentação, transportador de cavacos e magazine de ferramentas como partes internas da máquina.

Algumas definições adicionais:

Falha: A máquina parar de usinar as peças devido à quebra de algum componente interno.

Vida Útil: Tempo total de funcionamento da máquina (vida funcional).

Pode ser expressa em horas de trabalho contínuo, ou em número de peças usinadas.

Tempo Médio entre Falhas: Tempo entre a ocorrência de duas falhas consecutivas. É função do número de máquinas existentes na fábrica que estão submetidas ao mesmo time de manutenção, da capacidade deste time, do número de horas trabalhadas no ano (Work Pattern), e da existência de pulmao de acumulo de peças (Buffer) na entrada e saída da máquina.

Modelamento do Funcionamento da Máquina - Diagrama de Blocos

O primeiro diagrama de blocos apresentado (Fig.1.1) indica o fluxo de informações entre as principais partes da máquina. No segundo diagrama (Fig.1.2) estão representadas as contribuições destas partes para a contabilidade do sistema como um todo. Podemos notar que este segundo diagrama foi montado como uma sequência de blocos em série, onde a falha de apenas um destes blocos resulta na falha de todo o sistema.

Fig. 1.1 – Fluxo de informações entre os sub-sistemas da máquina

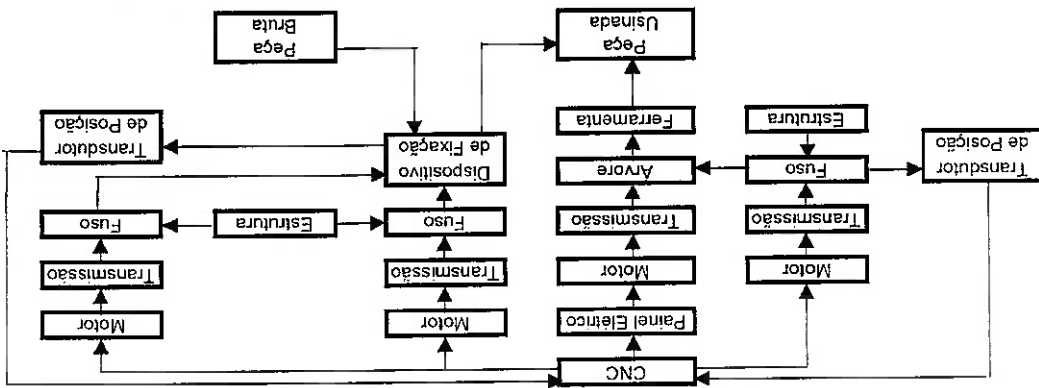
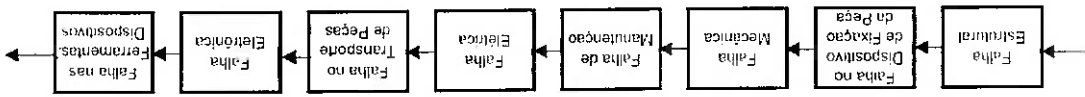


Fig. 1.2 – Modelamento do Sistema para cálculo de Contabilidade

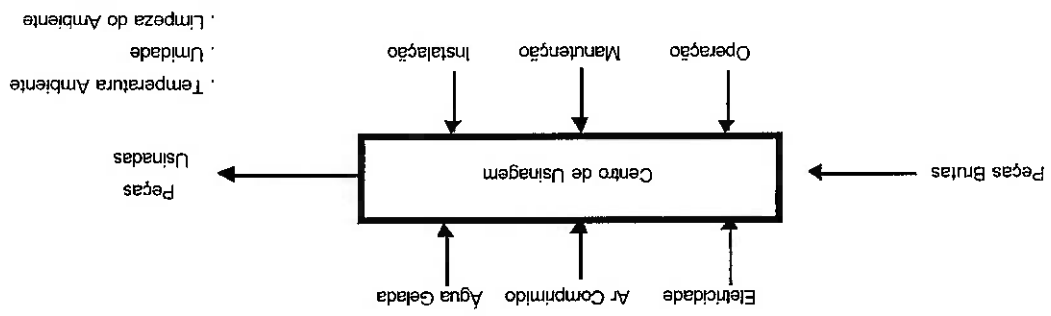


Modelamento dos Modos de Falha da Máquina - Árvore de Falhas

Na (Fig.1.3) temos a representação da máquina como um sistema único, assim como suas entradas, saídas e condições ambientais às quais está submetida. Considerando como falha principal a parada completa do sistema (máquina não usina), foi montada a Árvore de Falhas para isto ocorrer. Na (Fig.1.4) temos as relações entre os principais subsistemas, onde a falha de apenas um deles resulta na falha do sistema. Nas figuras subsequentes temos o detalhamento de cada subsistema, até a falha original.

Procurou-se montar a Árvore de Falhas apenas com portas OU, a fim de se simplificar o estudo. Para tal, não foram considerados componentes redundantes.

Fig. 1.3. – Entradas e Saídas do Sistema



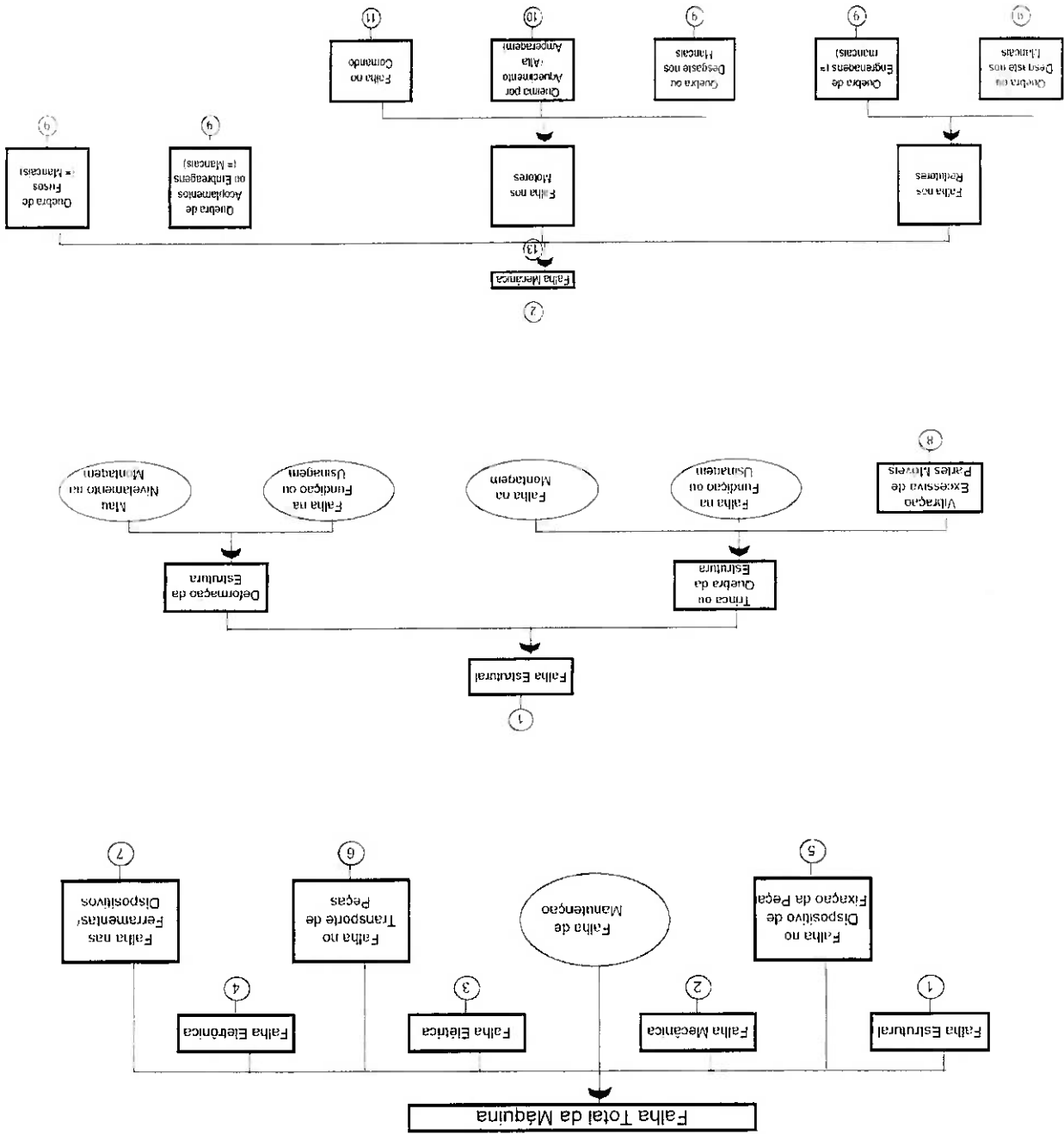
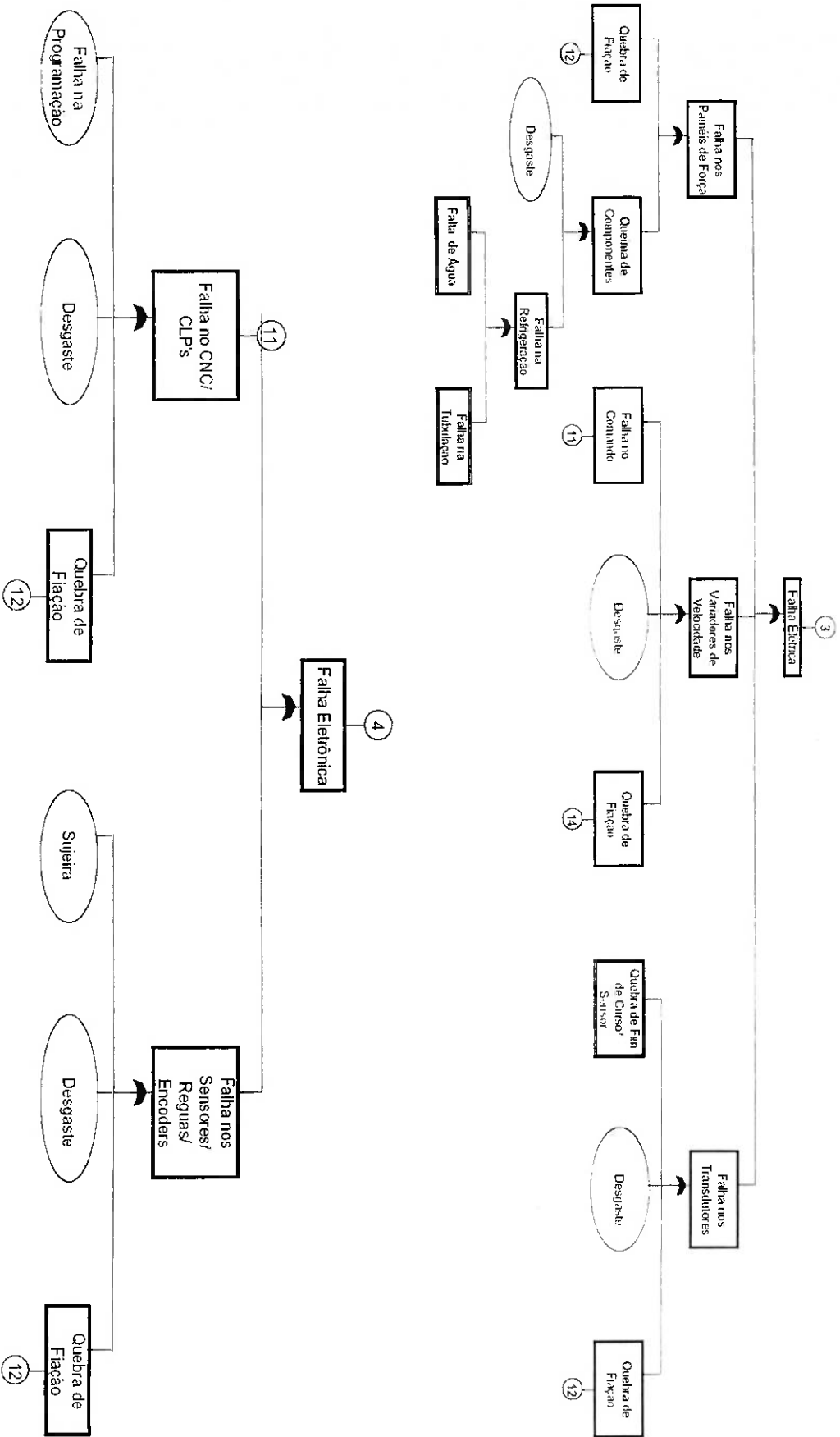
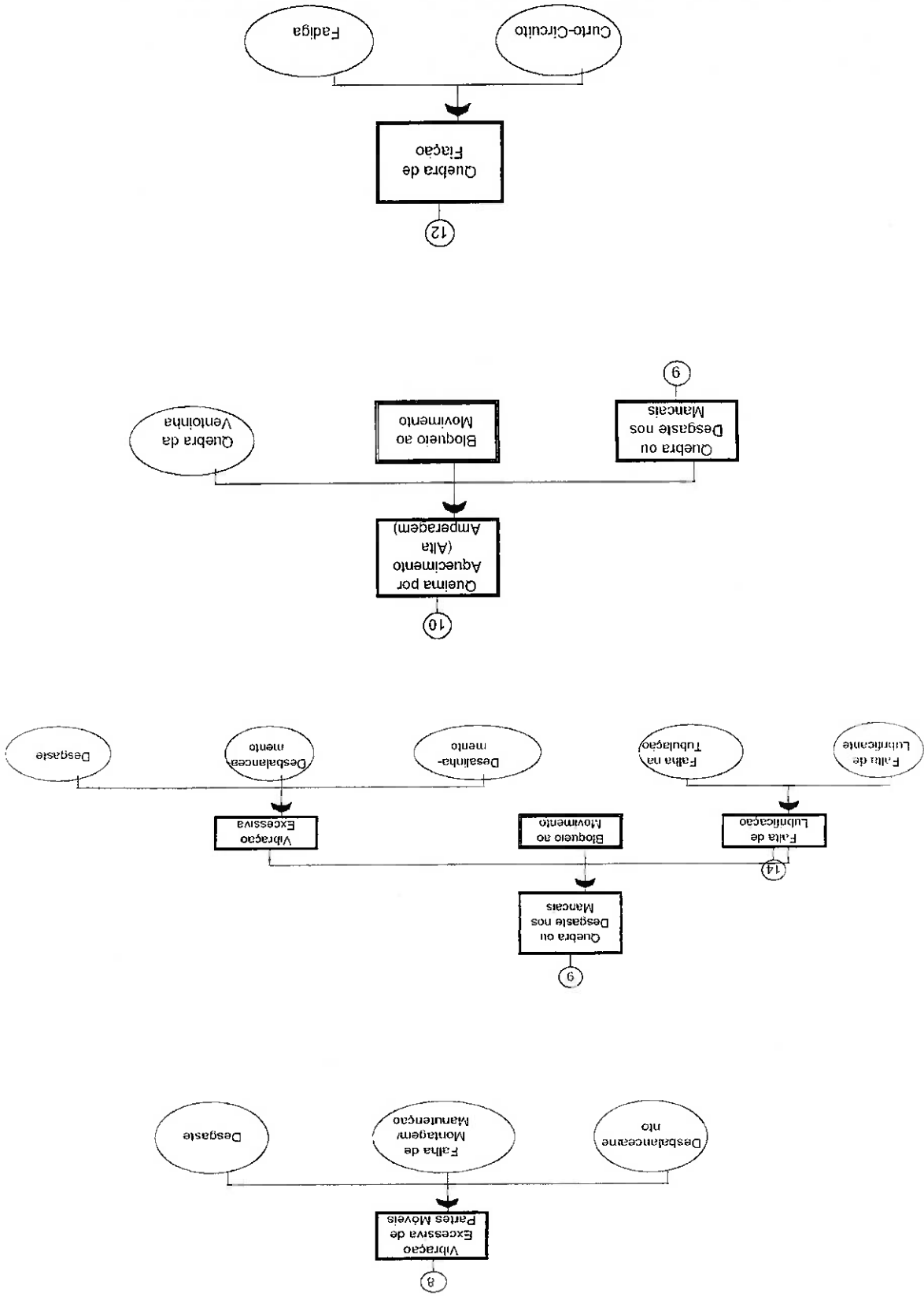


Fig. 1.4 - Árvore de Falhas do Sistema





Análise dos Modos e Efeitos das Falhas - FMEA

Identificados os componentes críticos de cada subsistema, deve-se preparar uma análise de modos e efeitos das falhas destes componentes. Em um estudo completo esta fase não pode, de maneira alguma, ser pulada. Trata-se de uma das fases mais importantes do estudo.

Estudo de Confiabilidade:

Cálculo da Confiabilidade da Máquina

Dado o modelo apresentado - todos os componentes em série nos subsistemas e todos os subsistemas em série no sistema - temos que a confiabilidade total do sistema (R_s) é igual ao produto da confiabilidade de todos os componentes j de todos os subsistemas i [O'Connor 85]:

$$R_s = \prod_i R_i \quad R_i = \prod_j R_j$$

$$R_s = \prod_i \left[\prod_j R_{ij} \right]$$

Uma vez que consideramos que a máquina está sujeita a manutenção preventiva, podemos considerar (sem grandes discrepâncias) que as taxas de falhas de cada componente é constante. Portanto:

Sendo,

$$R_s = e^{-\lambda_{jt}}$$

Temos:

$$R_s = e^{-\sum_i \sum_j \lambda_{ij} t}$$

onde, λ_{ij} = taxa de falhas do componente j do subsistema i (h)
 t = instante onde é calculada a confiabilidade (h)

E finalmente, considerando manutenção preventiva perfeita (a probabilidade de falha na execução da mesma já está incluída na Árvore de Falhas), temos, para um período entre manutenções $T < MTBF$ (tempo médio entre falhas):

$$R^{sm} = \begin{pmatrix} e^{-\sum_j \lambda_{1j} \cdot t} \\ \vdots \\ e^{-\sum_j \lambda_{ij} \cdot t} \\ \vdots \\ e^{-\sum_j \lambda_{Nj} \cdot t} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} e^{-\sum_j \lambda_{1j} \cdot (t - NT)} \\ \vdots \\ e^{-\sum_j \lambda_{ij} \cdot (t - NT)} \\ \vdots \\ e^{-\sum_j \lambda_{Nj} \cdot (t - NT)} \end{pmatrix}$$

onde: N = número de manutenções realizadas (inteiro)
 R^{sm} = Confiabilidade do sistema com manutenção preventiva

Estudo de Manutenibilidade

Tempo Médio Para Reparo - MTRR:

$$MTRR = \frac{\sum_i MTRR_i \cdot (d/\lambda_i)}{\sum_i (d/\lambda_i)}$$

onde: $MTRR_i$ = Tempo Médio de Reparo de cada componente
 λ_i = Taxa de Falhas de cada componente (constante)

Tempo Médio Entre Falhas - MTBF:

$$MTBF = \frac{MTRR \cdot NMAQ}{HDM \cdot CMAN}$$

onde: $MTRR$ - Tempo Médio Para Reparo (Preventiva + Corretiva) [h]

$NMAQ$ - N.º de máquinas sob o trabalho do mesmo time de manutenção []

Apesar deste exemplo conter algumas aproximações e ser superficial na análise de falhas, ele reflete a teoria a ser seguida no Estudo de Viabilidade de sistemas de usinagem flexível, e o nível de Confiabilidade e Manutenibilidade a ser exigido dos fornecedores de máquinas. Estes níveis devem ser apresentados na forma de valores de MTBF (tempo entre falhas) ou taxa de falhas, e MTTR (tempo para reparo). Também é necessária uma lista de todos os componentes críticos, lista de peças de

Conclusões

ou então que o serviço de manutenção seja feito em hora extra (quando possível).

onde: PROD = Produção horária de peças

$$BUFFER = (MTTR - HDM) \cdot PROD$$

Caso, devido ao número de horas diárias de trabalho (*Work Pattern*), o Tempo Médio Para Reparo (MTTR) seja maior que as Horas diárias disponíveis para manutenção (HDM), então será preciso que haja sempre um estoque de peças (Buffer) antes e depois da operação, de tamanho proporcional à diferença entre MTTR e HDM:

$$MTBF = \frac{HDM \cdot CMAN}{\sum_k MTTR_k}$$

Para k máquinas diferentes:

para o caso de todas as máquinas consideradas serem idênticas (mesmo MTTR).

HDM - Horas diárias disponíveis para manutenção (*Work Pattern*) [h/ dia]
 CMAN - Capacidade de trabalho concomitante do time de manutenção []

reposição, FMEA e Árvore de Falhas do equipamento, a fim de facilitar os trabalhos de manutenção corretiva, reduzindo o tempo de diagnóstico do problema. De posse destes dados é possível exigir dos fabricantes o cumprimento dos valores estabelecidos de Confiabilidade, devendo inclusive estar descritos no termo de garantia da máquina.

APÊNDICE II.

Fórmulas usadas no Estudo de Caso:

A seguir, um resumo das fórmulas usadas nas planilhas de cálculo, na seqüência em que aparecem:

$$\text{Disponibilidade (\%)}: A = \frac{MTBF}{MTBF + MTR} \cdot 100$$

$$\text{Capacidade de Produção da Máq. (100\%)} = \frac{\text{Tempo de Ciclo (100\%)}}{60}$$

Custo/ ano de Material de Manutenção (todas as máq.) = (Custo por máquina) x (n° de máquinas)

Custo/ ano de mão de obra de Manutenção (todas as máq.) = (Custo por máquina) x (n° de máquinas) x (custo da hora de manutenção)

Custo de Inventário/ ano = (custo estoque de ferramentas mais peças de reposição) x (taxa de desconto/ 100)

Horas de mão de obra de operação = (tempo em minutos de ciclo a 100%)/ 60 x (n° operadores/ máq.) x (n° de máquinas)

Custo/ ano da mão de obra de operação = (Horas de mão de obra) x (custo/ hora da mão de obra)

$$\text{N° de jogos de ferramentas/ ano} = \frac{\text{Peças/ ano}}{\text{Peças / afiação} \cdot (\text{n° afiações / ferramenta})}$$

$\overline{\text{Custo/ano em ferramentas}} = (\text{n}^\circ \text{máquinas}) \times (\text{n}^\circ \text{jogos ferram.}) \times [\text{custo/jogo ferram.} + (\text{n}^\circ \text{atlações / ferram.} \times \text{custo da atiação})]$

$\overline{\text{Custo mão de obra para troca de ferram.}} = (\text{tempo de troca}) \times (\text{n}^\circ \text{de máquinas}) \times (\text{custo/ hora da mão de obra}) \times (\text{n}^\circ \text{de jogos de ferramentas}) \times (\text{n}^\circ \text{atlações/ ferramenta})$

$\overline{\text{Custo de Utilidades/ano}} = (\text{custo unitário}) \times (\text{n}^\circ \text{de máquinas}) \times (\text{consumo/ hora}) \times (\text{total de horas trabalhadas/ano})$

onde, para consumo elétrico, o período de funcionamento (h/ ano) é:

- (total de horas trabalhadas) – (horas líquidas disponíveis), para funcionamento em vazio
- (horas líquidas disponíveis), para funcionamento em trabalho

$\overline{\text{Custo de Consumíveis}} = (\text{Custo/ano}) \times (\text{n}^\circ \text{de máquinas})$

$\overline{\text{Parcelas do Fluxo de Caixa } A_n} = [(\text{Investim. Próprio}) + (\text{Amortização Financ.}) + (\text{Custo Anual Produção}) - (\text{Desconto IR}) - (\text{Valor Residual})] \times (\text{taxa \% de inflação} + 1)^{(\text{n}^\circ \text{do Período})}$

Custo Total do Processo:

$$PTC = \sum_{n=1}^N \frac{A_n}{(1+i)^n}$$

onde, $PTC = \text{Custo Total do Processo}$

$A_n = \text{parcelas referentes aos custos e despesas do processo}$

$N = \text{número de parcelas a serem somadas}$

$i = \text{taxa de juros referente ao Custo de Oportunidade}$

$\overline{\text{Tempo médio entre trocas de Ferramentas}} = (\text{total de horas disponíveis/ano}) / (\text{n}^\circ \text{ trocas de Ferramenta/ano})$

$\overline{\text{Tempo de Setup}} = (\text{tempo médio setup/ dia}) \times (\text{dias produção/ano})$

$$\overline{\text{Horas Dispon. Líg.}} = (\text{TotalHorasDisp.}) \cdot \left(\frac{\text{MTBT} - \text{MTT}}{\text{NOS}} - \frac{\text{MTBT}}{100} \right) - (\text{tempodeSetup})$$

onde, MTBT = Tempo médio entre trocas de ferramentas

MTT = Tempo médio para trocar ferramentas

NOS = % de tempo não operacional

Capacidade Líquida/máquina =

$$\frac{(\text{HorasDispLig}) \cdot \text{Disponibilidade (Índice de Qualidade)}}{(\text{TotalHoras/ano})} \cdot \frac{100}{(\text{Capacidade Prod. Máq.})}$$

Capacidade Total = (Capacidade Líquida/máquina) x (n° máquinas)