

2302053

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO

**AUTOMATIZAÇÃO DE PROCESSO DE  
INJEÇÃO**

Autor: VICENTE HSIA

Orientador: Prof. LUIS EDUARDO CERDA ORTIZ

TF-87  
H 859a

- 1987 -

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao prof. LUIS EDUARDO CERDA ORTIZ pela sua importante orientação na elaboração deste trabalho.

Gostaria de agradecer também aos meus colegas politécnicos que muito me prestigiaram nestes anos acadêmicos.

A  
LIGIA

## SUMARIO

Atualmente o mercado de confecção de peças plásticas para brindes é altamente competitivo. Isso faz com que seus produtos, usualmente denominados "de briga", devam possuir boa qualidade aliada a um preço relativamente baixo, para possuírem boa aceitação no mercado.

Normalmente esses produtos possuem um lucro unitário reduzido, mas como a produção é elevada, o lucro total torna-se compensador. Por isso há a necessidade de se minimizar os custos, sem a perda da qualidade e, se possível, como o aumento da produção.

Este trabalho de formatura se preocupará com uma alternativa de minimização de custos decorrente da automatização da linha de produção, que acarretará, também, um aumento de produção.

Este trabalho foi dividido em 2 (duas) partes.

A primeira parte consiste em um pequena introdução que analisará o mercado, a empresa (fictícia), etc. Em seguida há a identificação da necessidade e modelos de possíveis alternativas. Finalizando com a eliminação de algumas alternativas, devido a critérios impostos.

A segunda parte consiste na determinação de uma alternativa que será considerada a "solução ótima" e, conseqüentemente, na sua avaliação em diversas análises. Finalizando com uma conclusão a respeito da alternativa analisada.

# ÍNDICE

INTRODUÇÃO .....	i
------------------	---

## PARTE 1      Estudo de Viabilidade do Sistema

Capítulo 1	Estabelecimento da Necessidade .....	1
1.1	Análise do Meio .....	1
1.2	Análise da Empresa .....	1
1.3	Conclusões .....	2
Capítulo 2	Formulação do Problema .....	3
2.1	Definição do Problema .....	3
2.2	Análise do Problema .....	3
2.2.1	Análise como sistema .....	3
2.2.2	Análise funcional .....	4
2.2.3	Requisitos técnicos .....	7
2.3	Estabelecimento de Critérios de Avaliação .	8
Capítulo 3	Síntese de Possíveis Soluções .....	10
3.1	Soluções que Alteram o Processo .....	10
3.2	Soluções que Não Alteram o Processo .....	14
Capítulo 4	Estudo de Viabilidade .....	17
4.1	Viabilidade Física .....	17
4.2	Viabilidade Econômica .....	19
4.3	Viabilidade Financeira .....	22
Conclusão .....		28

## PARTE 2      Projeto Básico do Sistema

Capítulo 5	Escolha da Melhor Concepção .....	29
Capítulo 6	Modelagem .....	31
Capítulo 7	Análise de Sensibilidade .....	42
Capítulo 8	Análise de Compatibilidade .....	47
Capítulo 9	Análise de Estabilidade .....	50
Capítulo 10	Otimização Formal .....	53
Capítulo 11	Previsões para o Futuro .....	58

Capítulo 12	Previsão de Tempo de Funcionamento .....	59
Capítulo 13	Ensaaios e Testes .....	60
Capítulo 14	Simplificações do Projeto .....	61
Conclusão .....		61
PARTE 3	ANEXOS .....	62
BIBLIOGRAFIA .....		75



## INTRODUÇÃO

Desde que, em 1868, o americano John W. Wyatt, indignado com o elevado preço das bolas de bilhar de marfim, inventou um produto sintético chamado celulóide, as cifras referentes à produção de materiais sintéticos não cessaram de elevar-se e, parece não estar longe a época em que estas substâncias desempenharão um papel cada vez mais importante do que o ferro, numa evolução técnica que não tem, decerto, paralelo algum.

Os termoplásticos tornaram-se produtos de consumo generalizado, não havendo hoje praticamente nenhum campo em que não tenham aplicação.

## CAPÍTULO 1

### ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE

#### 1.1 - Análise do meio

O termoplástico vem substituindo muitos materiais na fabricação de peças, onde o peso seja um fator importante, ou o tempo de fabricação ou pela vantagem de se obter formatos diversos por injeção.

O mercado tem estado em expansão, mas a reforma econômica provocou um aumento brusco de consumo.

Para tanto, tomemos por exemplo, uma pequena indústria de injeção de plásticos que produz peças de pequeno a médio volume para terceiros, e linhas próprias de produtos. Ela também sentiu os efeitos da reforma. A linha de produtos para brindes cresceu acentuadamente.

Vamos utilizar em nosso trabalho uma empresa fictícia, para podermos impôr certos valores empíricos, para posterior análise.

A expectativa é de que o mercado de peças plásticas cresça bem acima da média da economia nacional, embora se considere o ano de 1986 como atípico, por razões óbvias. A demanda atual de peças de pequeno porte (até 50g) é de 600.000 mensais, e estima-se que em 1991 venha a atingir 1.000.000 peças mensais.

#### 1.2 - Análise da empresa

A empresa possui basicamente máquinas manuais (conhecidas como "mula-manca"), embora possua também máquinas mais sofisticadas.

Produzindo plenamente, mesmo nos meses de menor demanda, a empresa conseguia atender os picos que ocorriam ao final do ano. Para acompanhar o crescimento da demanda se fazia investimentos na forma de compra de máquinas. Entretanto isto acaba por levar a uma alta ineficiência em termos de espaço físico, maior utilização de mão-de-obra, maior tempo de fabricação, desperdício de matéria-prima, etc.



Para manter sua competitividade no mercado e aproveitar o crescimento geral da economia, a empresa deve então aumentar sua capacidade de produção, bem como sua eficiência.

A capacidade de investimento da empresa é relativamente pequena, e portanto, este projeto se limitará a melhorar o processo de fabricação de peças pequenas (até 50g) que são fabricadas nas máquinas manuais. As peças maiores já são produzidas em máquinas semi-automáticas, as quais não se pretende substituir, ao menos por enquanto.

A capacidade de produção de peças de 50g é cerca de 400.000 unidades (cerca de 10t de material) mensais, havendo portanto uma defasagem com a demanda em cerca de 200.000 peças.

Estima-se que se pode reutilizar 30% da matéria-prima.

### 1.3 - Conclusões

A direção da empresa pretende que o novo sistema de produção complemente num primeiro estágio, a produção das máquinas manuais, e posteriormente venha a substituí-la. O sistema deverá também ter a capacidade para atender, com pequenas ampliações, se for o caso, a demanda até 1991.

## CAPÍTULO 2

## FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

2.1 - Definição do problema

Através da análise feita no item anterior, conclui-se que existe a necessidade de se aperfeiçoar o processo produtivo e aumentar a produção, através da automatização.

Os principais parâmetros são:

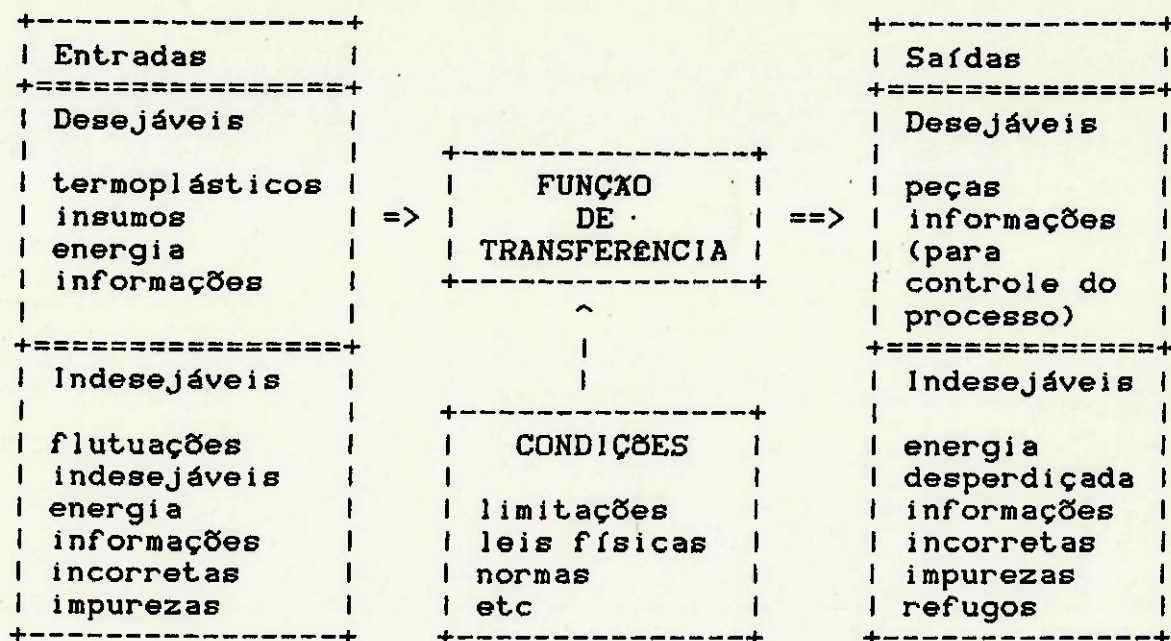
- Capacidade de produção: 15t/mês (com reaproveitamento, e 800 mil peças/mês)
- Custo: Cz\$ 30,00 kg

O processo como um todo deverá ser melhorado, mas a automatização se dará numa extensão e grau definidos por critérios financeiros.

2.2 - Análise do Problema

## 2.2.1 - Análise como sistema

O processo de fabricação será encarado como uma função de transferência, que, sob certas condições, fornece, a partir de determinadas entradas, certas saídas. Para fixar ao mínimo o projeto, esta análise determinará entradas, saídas e condições de maneira bastante geral e apenas qualitativa, com a finalidade de, juntamente com o item seguinte, clientar a formulação dos requisitos.

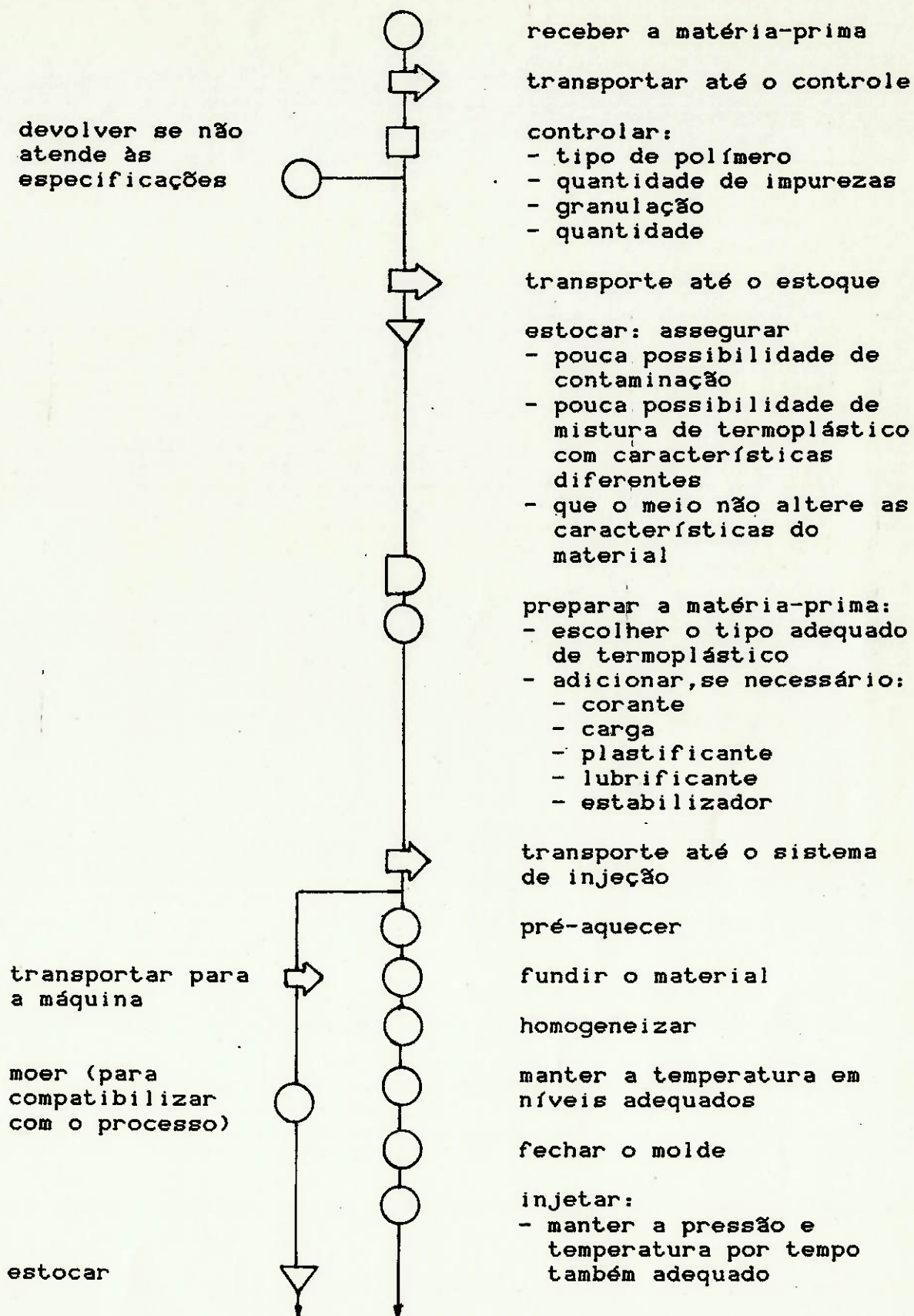


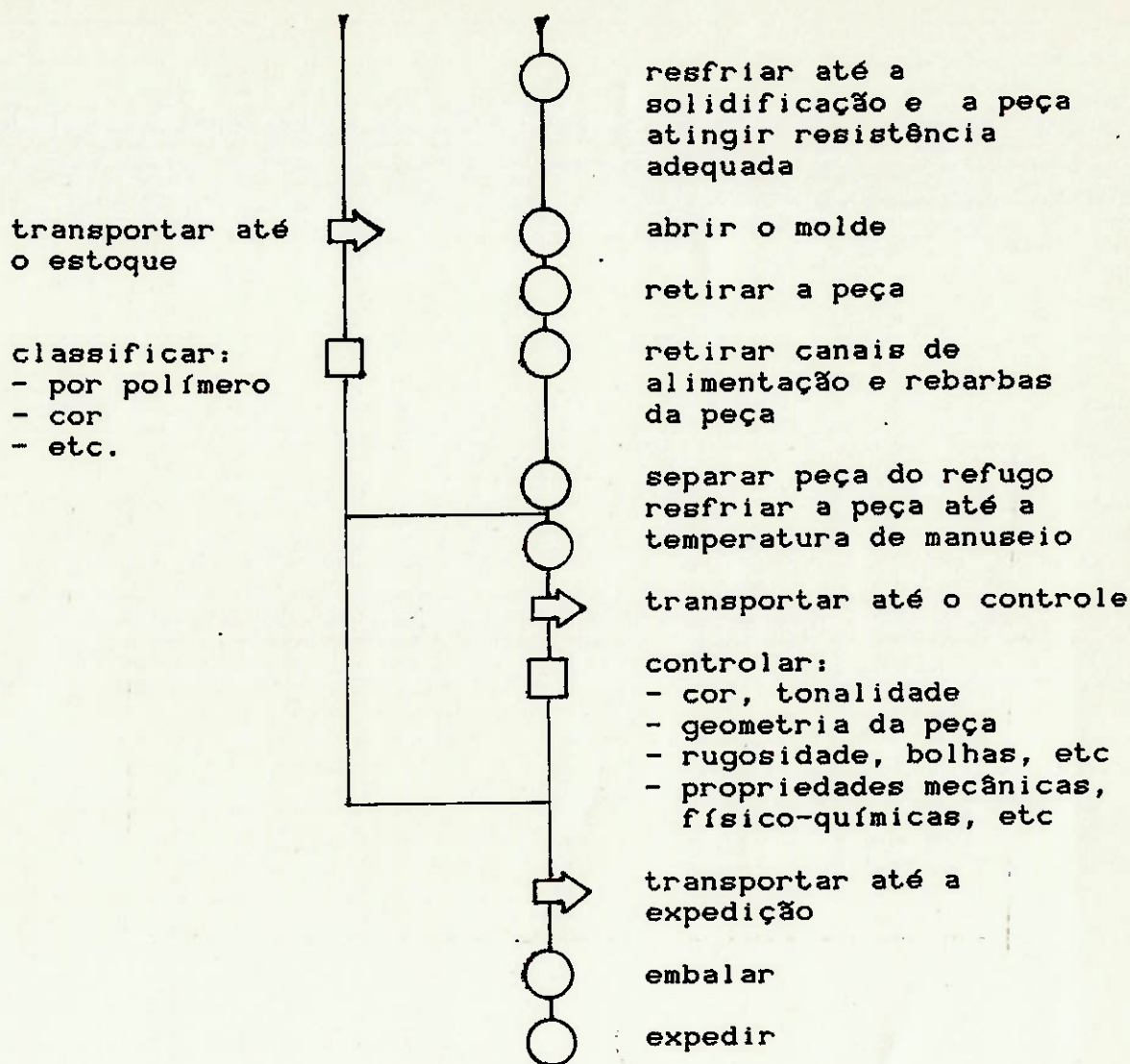
### 2.2.2 - Análise funcional

Nesta análise iremos identificar as funções que o processo deve exercer para cumprir sua finalidade.

Esta análise não tem por objetivo fixar um processo, mas tão somente auxiliar na definição dos requisitos e na pesquisa sistemática das soluções.







### 2.2.3 - Requisitos

A seguir listamos os requisitos necessários para que o projeto atenda as necessidades com os recursos e restrições existentes.

#### 2.2.3.1 - Requisitos sobre o processo

. Capacidade de processamento material	: 45 kg/h de material
. Perda de material (máx)	: 3%
. Pressão de injeção (máx)	: 150 MPa
. Faixa de temperatura	: 100 - 300°C
. Controle sobre:	
- pressão de injeção	: + 3%
- temperatura máxima a qual a peça se encontra	: + 2%
. Resfriar a peça para	: 35 °C
. Potência consumida	: até 1200 kW



- . Processar todos os materiais termoplásticos normalmente utilizados em moldes de injeção

#### 2.2.3.2 - Requisitos sobre a peça

- . Massa : até 50 gf
- . Característica da peça após o processo dentro das especificações do desenho da peça, sem necessidade de operações de acabamento

#### 2.2.3.3 - Condições de trabalho

- . Ambiente : normal, com pouco pó
  - pressão : 0,1 MPa
  - temperatura : média 25 °C
- . Tempo de funcionamento : 2 turnos 8h/dia

#### 2.2.3.4 - Requisitos construtivos

- Altura máxima : 3 m
- Largura ou comprimento máximo : 7 m
- Área ocupada máxima : 20 m<sup>2</sup>
- Pressão admissível sobre o solo : 2 MPa
- Molde : deve aceitar moldes com :
  - espessura : 50 ≤ e ≤ 250 mm
  - altura : 50 ≤ h ≤ 250 mm
  - largura : 70 ≤ l ≤ 350 mm
  - curso de fechamento : até 300 mm
- Construção modular
- Facilidade de manutenção
- Capacidade de receber :
  - ampliações
  - modernizações

#### 2.2.3.5 - Requisitos econômicos e financeiros

- Custo por kg de matéria-prima processada :  
Cz \$ 30,00/kg
- Possibilidade de operação (produção) mesmo durante a implantação
- Mínima necessidade de treinamento de mão-de-obra
- Vida útil : 5 anos, com ampliações 10 anos, com ampliações e/ou modernizações
- Prazo e limites de investimento (Lim. Inv.) :

	Prazos Finais	Lim. Inv. ( Cz \$ )
Projeto Básico	30/11/87	200.000
Projeto Executivo	31/01/88	400.000
Fase 1 da instalação (ainda não produtiva + treinamento)	15/02/88	800.000
Fase 2 da instalação (já produtiva)	31/03/88	600.000
Fase 3 da instalação (capacidade máxima já instalada)	30/04/88	200.000

As fases 2 e 3 deverão ser parcialmente autofinanciadas : 20% do investimento provém do projeto.

#### 2.2.3.6 - Requisitos ergonômicas e de segurança

- Boas condições de manobra e de manuseio
- Conforto para o operador
- Nível de iluminação
- Nível de ruído máximo : 80 db a 2 m da máquina, em qualquer direção
- Temperatura : até 10°C acima da temperatura ambiente a 1 m de distância, em qualquer direção
- Segurança :
  - para o operador
  - pessoas e equipamentos próximos
  - para o sistema

#### 2.2.3.7 - Requisitos gerais

- Na fase 2 da instalação (ver item 2.2.3.5), utilização de moldes já construídos
- Verificação de normas já existentes
- Verificação de patentes

### 2.3 - Estabelecimento de critérios de avaliação

Entendemos que os critérios de avaliação devem ser definidos antes da síntese de soluções, para evitar "vício" na avaliação.

Os critérios são listados a seguir, sendo que os pesos resultaram da importância relativa de um critério sobre o outro.

CRITÉRIOS	PESOS
- Capacidade de processamento.....	10
- Área ocupada.....	06
- Altura ocupada.....	06
- Peso.....	06
- Facilidade de manuseio.....	08
- Precisão de controle.....	08
- Segurança.....	10
- Nível de ruído.....	05
- Potência consumida (rendimento).....	10
- Facilidade de manutenção.....	08
- Facilidade de construção-implantação...	08
- Custo inicial de implantação, projeto..	08
- Custo por kg injetado.....	10
- Faixa de pressão e temperatura.....	06
- Tamanho do molde.....	06
- Capacidade de receber ampliações.....	08
- Capacidade de receber modernizações....	05
- Estética.....	06
- Vida útil.....	07
- Exigência de mão-de-obra.....	08
- Especialização de mão-de-obra.....	08
- Prazo de instalação.....	10
- Disposição física dentro da fábrica....	05
- Capacidade de produção antes da instalação completa.....	08

## CAPÍTULO 3

## SÍNTESE DE SOLUÇÕES

3.1 Soluções que implicam em alteração do processoSOLUÇÃO "A"

## UTILIZAÇÃO DE MONÔMERO COMO MATÉRIA-PRIMA

O monômero é misturado com plastificantes e injetado no molde na quantidade correta para preenchê-lo. O fluxo deve ser, portanto, precisamente regulado, utilizando para isto uma válvula agulha e medidores de fluxo.

O molde, a seguir, é levado para um forno através de corrente transportadora (o molde tem posição fixa, embora articulada, sobre a corrente) onde ocorrerá a polimerização.

O resfriamento será por corrente de ar. O molde chega à uma região onde o molde é aberto e a peça expulsa através de pinos extratores (o mecanismo é inerente ao molde e acionamento à região).

A peça é transportada por correia até uma embaladora.

Uma série de moldes é utilizada para aumentar a capacidade de produção.

SOLUÇÃO "B"

Variação do processo anterior, utilizando bomba dosador no lugar dos medidores de fluxo e a válvula de agulha.

SOLUÇÃO "C"

Variação do processo anterior, onde o forno para polimerização é substituído pela injeção conjunta de catalisador e monômero através de válvula que crie turbulência (para homogeneizar a mistura).

### SOLUÇÃO "D"

Variação do processo anterior, com a utilização de monômero como matéria-prima, mas com polimerização antes da injeção. Esta polimerização ocorre numa ante-câmara (mas não é completa). Pode-se utilizar este processo quando o monômero é um fluido, e a polimerização é feita com aplicação de pressão e temperatura adequados e a adição de catalisadores.

### SOLUÇÃO "E"

Combinação adequada da solução "C" e "D" para que o processo possa aceitar uma diversidade maior de monômeros, acrescentando uma região de aquecimento e fusão e transporte adequados e a adição de catalisadores.

### SOLUÇÃO "F"

#### MOLDAGEN POR COMPRESSÃO

O polímero é comprado em forma de barras (ou outra forma mais conveniente), e cortado de forma a obter quantidades bem precisas de material.

Uma tenaz coloca o bloco no molde de compressão aquecido por resistências elétricas e acionado por cilindro hidráulico. Uma vez moldada, a peça é retirada por pinos extratores. A peça segue por correia transportadora, resfriada por corrente de ar até uma embaladora.



## MATRIZ MORFOLÓGICA DE SOLUÇÕES

FUNÇÕES	A	B	C	D	E
1) Controle da mat. prima	Controle Humano				
2) Transporte de mat. prima	Correia de transporte	Gravidade em duto	Rosca de transporte	Aspersão	Sistema c/ caçamba
3) Controle de quantidade de estocada	Visual	Transdutor de peso			
4) Preparo da matéria prima	Manual	Já preparada por terceiro			Utilização de máquina automática
5) Aquecimento	Resistência elétrica	Radiação	Trocador de calor (ar)	Trocador de calor (fluido)	ca com molde adequado
6) Homogeneização	Manual	Hélice	Tambor Rotativo	Rosca de Transp.	
7) Injeção	Rosca de transp. / Pistão	Pistão			
8) Extração	Pino Extrator	Ar comprimido	Garras		
9) Rebarbação	Junto c/ pino extrator	Bico de injeção			
10) Separação	Gaveta	Porta	Manual após resf		
11) Transporte de peças	Manual	Correia Transportadora	Corrente Transportadora		

FUNÇÕES	A	B	C	D	E
12) Controle de Fluxo de Peças	Porteira na corrente de transporte	Região de espera mais outra correia para retirar peças controladamente	Balança Contadora		
13) Controle de Fluxo de Mat. Prima	Válvula Borboleta	Válvula de Palhetas	Velocidade da Correia	Rotação da Rosca	
14) Resfriamento	Asperção de Água	Ar	Imersão em Água		
15) Secagem	Ar				
16) Controle de Peças	Controle Humano	Controle por Transp.			
17) Embalagem	Seladora	Sacos c/ costura			
18) Retorno de Refugo (Realimentação)	Moagem mais Sistema de Transporte	Rosca Transportadora	Sem preparação, mas controlando o fluxo para não obstruir a entrada	Aquecimento na entrada com fusão do refugo	

### 3.2 - Soluções que não implicam na alteração do processo

#### SOLUÇÃO "G"

O controle de qualidade de matéria-prima (comprada já preparada) é realizado por um operário. O transporte de matéria-prima é por ação da gravidade através de um duto até o coletor da máquina de injeção automática, sendo o controle de fluxo de matéria realizada por uma válvula rotativa de palhetas controlada por motor de corrente contínua através de um sensor de peso, no funil da máquina. O aquecimento do sistema de pistão alimentado por uma rosca transportadora (sua finalidade também é a de homogeneizar o material). O processo de rebarbação e extração são realizados por pinos extratores. A separação dos rabichos da(s) peça(s) é feita através do molde que inicialmente separa os rabichos e os deposita num funil escamoteável situado abaixo do molde com saída para uma rosca transportadora que os levará até o coletor; sendo eliminados os rabichos, este funil se deslocará transversalmente à máquina e sua saída estará sobre uma esteira que levará o produto para a etapa de resfriamento por asperção de água e secagem por convecção forçada. O produto é então transportado por uma esteira passando então pelo controle e qualidade visual e posterior embalagem por máquina seladora.

#### SOLUÇÃO "H"

Matéria-prima é controlada (inspecionada) por operário e depois transportada manualmente até o estoque. Este estoque é controlado visualmente. Posteriormente a matéria-prima é controlada via rosca transportadora até o coletor da máquina de injeção automática (realiza fusão, homogeneização e injeção), molde com extrator, que realiza rebarbação e pré-separação, depois separadas por porteira. As peças são transportadas por correia até o tanque d'água dotado de pá para a separação do produto em suspensão. Secagem por convecção forçada e caem numa região de espera que retira as peças por outra correia com velocidade controlada. Sofre controle de qualidade por inspeção humana e embalagem pos seladora. Os refugos são realimentados por rosca transportadora, dotada de "dentes" da pré-moagem até o coletor da máquina.

### SOLUÇÃO "I"

Matéria-prima é primeiramente inspecionada por um operário qualificado. O estoque é controlado visualmente por uma janela de inspeção. O material estocado é transportado por correia até a máquina automática que realiza os processos de fusão, homogeneização e injeção. Utiliza-se molde adequado para a extração, rebarbação e pré-separação (primeiro expulsão da peça, depois os canais de alimentação e rebarbas). Separação por gaveta. As peças caem em correia transportadora, passam por chuveiros para resfriamento, corrente de ar para secagem e passam para região de espera e entram em outra correia que retira as peças de maneira controlada. Passam por inspeção visual de amostragem e são embaladas em sacos costurados.

### SOLUÇÃO "J"

Há estoque de matéria-prima por um transdutor de peso, previamente inspecionada por um operário. A matéria-prima já vem preparada por terceiros; ela sai do estoque e é transportada e homogeneizada por uma rosca transportadora. Os grãos caem num forno elétrico que aquece por radiação e depois entram no bico injetor e são injetados por meio de um pistão. A extração é feita por meio de um pino extrator e a rebarbação é feita no próprio molde.

Rebarba e peças são retiradas alternadamente e por meio de um "portão" sincronizados, são definitivamente separados. A rebarba cai numa rosca transportadora que "quebra" em pedaços menores, sendo depositados novamente no forno.

As peças caem em correntes transportadoras e seu fluxo é controlado por porteira. Ao longo da corrente, existe uma asperção de água e um secador por ar no contra-fluxo. São inspecionados visualmente e depois de contados, são embalados em sacos costurados de fibra plástica.



### SOLUÇÃO "K"

Inspeção e controle humano de matéria-prima. Estocado em nível superior à máquina, e controlado por um transdutor de peso. A matéria-prima é transportada à máquina por dutos, utilizando-se da gravidade. Estes dutos possui homogeneizado por tambor rotativo, aquecido por resistência elétrica e a injeção é por meio de pistão. O molde possui extrator que faz a rebarbação e pré-separação. Esta é feita por "porta seletiva" e as peças, já separadas são transportadas por corrente transportadora que possui uma porteira para controle de fluxo de peças. Ao longo deste corrente existe ar em contra-fluxo para resfriamento das peças. Existe controle de qualidade por visualização. São embalados em lotes de sacos costurados.

O retorno do refugo é feito por um moinho, ao lado da máquina e transportado até o tambor rotativo por meio de correia dotada de caçambas.

### SOLUÇÃO "L"

Recebimento e controle de matéria-prima por pessoa qualificada, transporte por gravidade, controlada por válvula de palheta. O processamento é feito em máquina injetora automática. O molde extrai e rebarba a peça de maneira controlada (primeiro expulsa a peça, depois os canais de alimentação) e, se possível (dependendo do desenho da peça), evitar a solidificação dos canais de alimentação, utilizando bico injetor aquecido. A separação é feita por uma porta que controla o caminho do material processado. A peça cai em correia transportadora, resfriada por corrente de ar e, passa por uma região de espera para a inspeção visual (por amostragem) e, depois para a embaladora (que utiliza sacos plásticos).

O retorno de refugo é feito por correia transportadora e este fluxo é controlado de forma a não obstruir a entrada da máquina injetora.



## CAPÍTULO 4

## ESTUDO DE VIABILIDADE

4.1 - ANÁLISE DE EXEQUIBILIDADE FÍSICASOLUÇÃO "A"

O processo é exequível fisicamente, embora seja adequado apenas para monômeros líquidos que se polimerizam por adição. Vide Fig. 01 no anexo.

Para processar 45 kg/h de material talvez seja necessário mais que um sistema de injeção.

SOLUÇÃO "B"

É viável fisicamente, dentro dos conhecimentos disponíveis.

SOLUÇÃO "C"

Em princípio também nos parece exequível. Será necessário, entretanto, verificar se a velocidade de polimerização é compatível com a velocidade de injeção.

SOLUÇÃO "D"

Também parece exequível, mas é necessário a realização de testes para analisar certas características da transformação, principalmente a mudança de volume específico. Esta característica é importante para verificar a viabilidade física do processo (principalmente velocidade de transformação e fluxo incompatíveis com a velocidade de produção requerida).

SOLUÇÃO "E"

Comentários idênticos aos das soluções "B" e "C".

### SOLUÇÃO "F"

é exequível fisicamente pois os equipamentos requeridos podem ser obtidos no mercado ou fabricados (como o molde, por exemplo). Vide Fig. 02 no anexo.

Os cavacos gerados no corte do bloco inicial podem ser reaproveitados nas outras máquinas da empresa.

### SOLUÇÃO "G"

Analisando a proposta de solução, verificamos que alguns itens possuem sua exequibilidade física comprometida. O processo de separação dos rabichos das peças necessitará que a máquina adquirida possua uma região livre para adaptação do sistema de coleta. Vide Fig. 03.

### SOLUÇÃO "H"

Verifica-se que esta solução não apresenta maiores problemas quanto à sua exequibilidade física. Vide Fig. 04.

### SOLUÇÃO "I"

Fisicamente, a maior dificuldade dessa solução consistirá na obtenção de um sincronismo relativamente preciso no controle do fluxo de peças. Afora essa dificuldade a solução mostra-se perfeitamente viável. Vide Fig. 05.

### SOLUÇÃO "J"

Verifica-se que esta solução, também, não apresenta maiores problemas quanto à sua exequibilidade física.

### SOLUÇÃO "K"

O sistema é viável, sendo que não há necessidade, com exceção do molde, de fabricação de nenhum equipamento especial. Todos os equipamentos podem ser comprados.

### SOLUÇÃO "L"

Como a solução proposta é semelhante à solução "I", está justificada a sua viabilidade física, sendo inclusive, mais simples em alguns pontos. Vide Fig. 06.

#### 4.2 - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Verificaremos se as soluções podem processar o material a um custo adequado, segundo as especificações (que é Cz\$ 30,00/kg de matéria processada).

Tendo em vista o estágio de desenvolvimento das soluções (pouco detalhamento), estimaremos os seguintes custos (o custo de amortização será levado em conta quando da análise financeira):

- Custo de matéria-prima;
- Custo de mão-de-obra;
- Custo de processamento;
- Custos indiretos.

Assumiremos a hipótese de que os custos indiretos representam 20% da soma dos outros custos.

O custo de matéria-prima também refletirá a capacidade de reaproveitamento, e o custo de processamento também levará em conta o custo deste reprocessamento.

A seguir, têm-se a avaliação econômica das soluções (valores numéricos em cruzados por quilo de material transformado em peça acabada).

### SOLUÇÃO "A"

Custo de :	- matéria-prima :	12,0
	- mão-de-obra :	2,0
	- processamento :	7,0
	- indireto :	4,2
	TOTAL	25,2 < 30

Portanto, temos que a solução é viável.

Obs.: A matéria-prima é mais barata e, teoricamente não há a necessidade de reprocessá-la.

SOLUÇÃO "B"

Custo de :	- matéria-prima :	12,0	
	- mão-de-obra :	2,0	
	- processamento :	7,0	
	- indireto :	<u>4,2</u>	
	TOTAL	25,2	< 30

Portanto, temos que a solução é viável.

SOLUÇÃO "C"

Custo de :	- matéria-prima :	15,0	
	- mão-de-obra :	2,0	
	- processamento :	6,0	
	- indireto :	<u>4,6</u>	
	TOTAL	27,6	< 30

Portanto, temos que a solução é viável.

Obs.: O custo de matéria-prima inclui catalisadores e outros aditivos.

SOLUÇÃO "D"

Custo de :	- matéria-prima :	15,0	
	- mão-de-obra :	2,0	
	- processamento :	7,0	
	- indireto :	<u>4,8</u>	
	TOTAL	28,8	< 30

Portanto, temos que a solução é viável.

Obs.: O custo de matéria-prima inclui catalisadores e outros aditivos.

SOLUÇÃO "E"

Custo de :	- matéria-prima :	15,0	
	- mão-de-obra :	2,0	
	- processamento :	8,0	
	- indireto :	<u>5,0</u>	
	TOTAL	30,0	< 30

Portanto, temos que a solução é viável.

Obs.: A matéria-prima é mais cara e o processamento também (uso de aquecimento na ante-câmara).

SOLUÇÃO "F"

Custo de :	- matéria-prima :	15,0	
	- mão-de-obra :	3,0	
	- processamento :	6,0	
	- indireto :	<u>4,8</u>	
	TOTAL		28,8 < 30

Portanto, temos que a solução é viável.

Obs.: Há maior utilização de mão-de-obra, devido à alimentação manual (colocar barras na serra) ser mais frequente que encher os reservatórios de monômeros. Como utiliza polímero, o custo de matéria-prima é mais elevado.

SOLUÇÃO "G"

Custo de :	- matéria-prima :	16,0	
	- mão-de-obra :	2,0	
	- processamento :	6,0	
	- indireto :	<u>4,8</u>	
	TOTAL		28,8 < 30

Portanto, temos que a solução é viável.

Obs.: A matéria-prima é reprocessada.

SOLUÇÃO "H"

Custo de :	- matéria-prima :	16,0	
	- mão-de-obra :	2,0	
	- processamento :	6,0	
	- indireto :	<u>4,8</u>	
	TOTAL		28,8 < 30

Portanto, temos que a solução é viável.

SOLUÇÃO "I"

Custo de :	- matéria-prima :	16,0	
	- mão-de-obra :	3,0	
	- processamento :	6,0	
	- indireto :	<u>5,0</u>	
	TOTAL		30,0 < 30

Portanto, temos que a solução é viável.



SOLUÇÃO "J"

Custo de :	- matéria-prima :	16,0	
	- mão-de-obra :	2,0	
	- processamento :	6,0	
	- indireto :	4,8	
	TOTAL	28,8	< 30

Portanto, temos que a solução é viável.

SOLUÇÃO "K"

Custo de :	- matéria-prima :	17,0	
	- mão-de-obra :	2,0	
	- processamento :	7,0	
	- indireto :	5,2	
	TOTAL	31,2	> 30

Portanto, temos que a solução é inviável.

Obs.: Observa-se entretanto, que diferença é relativamente pequena e a solução pode vir a ser considerada viável após um estudo mais acurado.

SOLUÇÃO "L"

Custo de :	- matéria-prima :	16,0	
	- mão-de-obra :	2,0	
	- processamento :	6,0	
	- indireto :	4,8	
	TOTAL	28,8	< 30

Portanto, temos que a solução é viável.

4.3 - ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

Esta análise será feita através dos custos estimados para cada uma das fases gerais seguintes:

- A : Projeto Básico.
- B : Projeto Executivo.
- C : 1a Fase de Instalação (ainda não produtiva).
- D : 2a Fase de Instalação (parcialmente produtiva)
- E : 3a Fase de Instalação (plena capacidade).

SOLUÇÃO "A"

FASE	CUSTO	COMENTARIO
A	1.000.000	Exige pesquisa para desenvolver tecnologia
B	600.000	
C	450.000	
D	600.000	
E	<u>300.000</u>	
TOTAL	2.950.000	

SOLUÇÃO "B"

FASE	CUSTO	COMENTARIO
A	1.000.000	Exige pesquisa para desenvolver tecnologia
B	600.000	
C	400.000	
D	600.000	
E	<u>300.000</u>	
TOTAL	2.900.000	

SOLUÇÃO "C"

FASE	CUSTO	COMENTARIO
A	1.100.000	Exige pesquisa para desenvolver tecnologia
B	550.000	
C	300.000	Não existe o forno
D	600.000	
E	<u>300.000</u>	
TOTAL	2.850.000	

SOLUÇÃO "D"

FASE	CUSTO	COMENTARIO
A	1.100.000	Exige pesquisa para desenvolver tecnologia
B	500.000	
C	450.000	Exige ante-câmara aquecida
D	700.000	
<u>E</u>	<u>300.000</u>	
TOTAL	3.050.000	

SOLUÇÃO "E"

FASE	CUSTO	COMENTARIO
A	1.100.000	Exige pesquisa para desenvolver tecnologia
B	500.000	
C	500.000	Exige ante-câmara aquecida mais elaborada (com possibilidade de fusão de monômeros sólidos)
D	750.000	
<u>E</u>	<u>350.000</u>	
TOTAL	3.200.000	

As soluções "A", "B", "C", "D" e "E" são soluções cuja característica principal é o desenvolvimento de uma nova tecnologia. Isto faz com que o investimento para as fases de projeto básico e o projeto executivo se tornem extremamente altos, tornando essas soluções financeiramente inviáveis.

SOLUÇÃO "F"

FASE	CUSTO	COMENTARIO
A	200.000	Tecnologia já desenvolvida
B	200.000	
C	500.000	
D	600.000	
<u>E</u>	<u>300.000</u>	
TOTAL	1.800.000	

A solução "F" devido à utilização de tecnologia já desenvolvida preenche todos os requisitos financeiros tornando-se uma solução viável.

SOLUÇÃO "G"

FASE	CUSTO	COMENTARIO
A	200.000	Tecnologia já desenvolvida
B	250.000	
C	100.000	
D	800.000	Custo bsico de máquina injetora automática
<u>E</u>	<u>100.000</u>	
TOTAL	1.450.000	

SOLUÇÃO "H"

FASE	CUSTO	COMENTARIO
A	200.000	Tecnologia já dominada
B	200.000	
C	100.000	
D	800.000	
<u>E</u>	<u>100.000</u>	
TOTAL	1.400.000	

SOLUÇÃO "I"

FASE	CUSTO	COMENTARIO
A	200.000	Não exige pesquisa em nova tecnologia
B	200.000	
C	100.000	
D	800.000	Custo básico de máquina injetora automática
<u>E</u>	<u>100.000</u>	
TOTAL	1.400.000	

As soluções "G", "H" e "I" são soluções que atendem financeiramente quanto ao investimento total, porém ele possui um ponto crítico na fase 2 devido a aquisição de uma máquina injetora automática.

SOLUÇÃO "J"

FASE	CUSTO	COMENTARIO
A	300.000	Exige estudo para construção de máquina injetora
B	300.000	
C	200.000	
D	900.000	Construção de máquina injetora
<u>E</u>	<u>100.000</u>	
TOTAL	1.800.000	



SOLUÇÃO "K"

FASE	CUSTO	COMENTARIO
A	300.000	Exige estudo para construção de máquina injetora
B	300.000	
C	200.000	
D	900.000	Construção de máquina injetora
<u>E</u>	<u>150.000</u>	
TOTAL	1.850.000	

As soluções "J" e "K" possuem dois pontos críticos. O projeto básico é encarecido devido ao estudo mais detalhado para a construção de uma máquina injetora. Além da construção de tal máquina encarecer a fase 2, embora em termos de investimento total elas sejam satisfatórias. Analisando tal situação podemos dizer que ela é a princípio viável.

SOLUÇÃO "L"

FASE	CUSTO	COMENTARIO
A	200.000	Tecnologia disponível
B	250.000	
C	100.000	
D	800.000	Custo básico de máquina injetora automática
<u>E</u>	<u>50.000</u>	
TOTAL	1.400.000	

A solução "L" tem seu ponto crítico na aquisição da máquina injetora automática apenas, tornando-se uma solução viável.

## CONCLUSÃO

Deste estudo de viabilidade, tira-se as seguintes conclusões:

- 1) A necessidade a que propomos atender é possível de ser satisfeita visto que obtivemos algumas soluções viáveis quanto aos aspectos físico, econômico e financeiro.
- 2) Dentre as soluções viáveis, estão as soluções "F", "H", "I", "J" e "L" enunciados anteriormente neste trabalho.

SOLUÇÃO	V.FÍSICA	V.ECONÔMICA	V.FINANCEIRA
A	viável	viável	inviável
B	viável	viável	inviável
C	viável	viável	inviável
D	viável	viável	inviável
E	viável	viável	inviável
F	viável	viável	viável
G	inviável	viável	viável
H	viável	viável	viável
I	viável	viável	viável
J	viável	viável	viável
K	viável	inviável	viável
L	viável	viável	viável

## CAPÍTULO 5

## ESCOLHA DA CONCEPÇÃO

## MATRIZ DE AVALIAÇÃO

Foi incluído um item, qualidade da peça, que é afetada pelo processo utilizado e, excluímos um outro item, faixa de pressão e temperatura, que é específico para cada processo, não tendo sentido uma comparação.

Segue logo abaixo, a matriz de avaliação:

## MATRIZ DE AVALIAÇÃO

ITEM	SOLUÇÃO PESO	F	H	I	J	L
Acabamento da peça.....	10	10	10	10	10	8
Capacidade de processamento..	10	6	10	10	9	8
Área ocupada.....	6	6	6	8	8	10
Altura ocupada.....	6	10	9	8	8	10
Peso.....	6	7	7	8	9	10
Facilidade de manuseio.....	8	7	9	8	9	10
Precisão de controles.....	8	7	9	9	8	10
Segurança.....	10	8	8	9	7	10
Nível de ruído.....	5	6	8	9	9	9
Potência consumida.....	10	10	10	9	8	10
Facilidade de manutenção.....	8	10	8	8	8	8
Facilidade de construção - (implantação).....	8	10	9	8	8	9
Custo (investimento) inicial	8	8	10	10	7	10
Custo por kg injetado.....	10	10	10	10	10	10
Tamanho do molde.....	6	10	9	9	9	9
Capacidade de receber ampliações.....	8	8	10	10	10	10
Capacidade de receber modernizações.....	5	7	9	9	10	9
Estética.....	6	7	7	8	9	10
Vida útil.....	7	10	10	10	10	10
Exigência de mão-de-obra.....	8	10	10	10	10	10
Especialização de mão-de-obra	8	10	9	9	9	10
Prazo de implementação.....	10	10	9	8	7	10
Capacidade produtiva antes da instalação completa.....	8	6	9	7	7	7
Disposição física dentro da fábrica.....	6	9	10	10	10	10
<b>TOTAL:</b>	<b>185</b>	<b>1577</b>	<b>1677</b>	<b>1658</b>	<b>1593</b>	<b>1746</b>
<b>NOTA :</b>		<b>8,52</b>	<b>9,06</b>	<b>8,96</b>	<b>8,61</b>	<b>9,44</b>

Critério: A melhor solução entre as relacionadas acima (em cada item) recebe nota 10 (dez).

Como podemos observar, existem soluções com notas aproximadas, mas vamos considerar que esta é uma análise preliminar sujeita a imprecisões e com alguns itens muito subjetivos. Porém os recursos são limitados e existe uma prioridade de prazo, o que leva à necessidade de escolher apenas uma solução para desenvolvimento.

Escolheremos a solução L, que possui a melhor nota; e o risco dessa decisão é relativamente pequeno, já que as outras soluções são semelhantes entre si (equipamento de maior valor, máquina de injeção comum em três soluções) e se trata de construir um único sistema.

## CAPÍTULO 6

## MODELOS

Apresentamos um modelo gráfico do sistema, que é um desenho sugerindo uma possível configuração, e servirá para estudos de disposição dos sub-sistemas.

Para facilitar a modelagem, vamos decompor o sistema em:

- estoque de matéria-prima;
- transporte de matéria-prima;
- sistema de injeção: refere-se à máquina de injeção
- transporte da peça;
- resfriamento;
- embaladora;
- transporte de rebarba;
- controle de peça acabada e ordenação do fluxo de peças

Estes sub-sistemas estão relacionados conforme o esquema da Fig. 07 (vide figura no anexo); e abaixo relacionamos as variáveis utilizadas:

- .  $m$  ... matéria-prima que entra no sistema proveniente do estoque da empresa
- .  $m_0$  ... matéria-prima básica
- .  $m_1$  ... insumos (corante, lubrificante, carga, plastificante, etc)
- .  $m_2$  ... matéria reciclada
- .  $m_{INJ}$  ... matéria processada na máquina de injeção
- .  $m_{PEÇA}$  ... matéria que efetivamente pertence à peça
- .  $m_{PERDA}$  ... material não reaproveitado

Considerando  $m$  (kg/ciclo) como fluxo de material por ciclo de injeção. A média no tempo de  $m$  é igual à média no tempo de  $m_0$ .

$$m_1 = \alpha \cdot m_0$$

$$m_2 + m_{PERDA} = \beta \cdot m_{INJ}$$

$$m_{PERDA} = \delta \cdot m_{INJ}$$

$$m_0 + m_1 = m_{PEÇA} + m_{PERDA} \quad \text{pelo}$$

$$m_{INJ} = m_0 + m_1 + m_2 \quad \text{esquema}$$



- $\alpha$  ... depende do produto e da matéria-prima  
 $\beta$  ... depende do produto (molde)  
 $\delta$  ... depende do sistema e do produto (molde)

Tomando como parâmetro  $m_{INJ}$  temos:

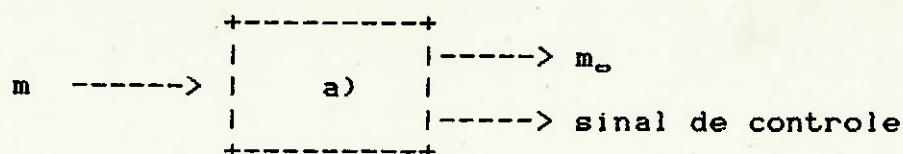
$$\begin{aligned}
 m_c &= \left( \frac{1-\beta+\delta}{1+\alpha} \right) \cdot m_{INJ} & m_{PECA} &= (1-\beta) \cdot m_{INJ} \\
 m_1 &= \alpha \left( \frac{1-\beta+\delta}{1+\alpha} \right) \cdot m_{INJ} & m_{PERDA} &= \delta \cdot m_{INJ} \\
 m_2 &= (\beta - \delta) \cdot m_{INJ}
 \end{aligned}$$

onde:

- $n_c$  ... número de peças por ciclo  
 $n_{PM}$  ... número de peças a serem produzidas por mês  
 $t_d$  ... tempo de trabalho por dia (h/dia)  
 $d_M$  ... dias trabalhados por mês  
 $n_{PH}$  ... número de peças por hora  
 $m_P$  ... massa de cada peça (g)

$$\begin{array}{lcl}
 n_{PH} = \frac{n_{PM}}{t_d \cdot d_M} & | & \\
 n_c \cdot n = n_{PH} & | > & m_{PECA} = \frac{n_{PM}}{n \cdot t_d \cdot d_M} m_P \\
 n_c \cdot m_P = m_{PECA} & | &
 \end{array}$$

#### a- Estoque de matéria-prima



Definições:

- $Q_t$  ... massa de matéria-prima que o silo deve armazenar (kg)  
 $Ch$  ... consumo de matéria-prima na unidade de tempo (kg/h)  
 $Cc$  ... consumo de matéria-prima por ciclo de injeção (kg/ciclo)  
 $n$  ... número de ciclos por hora  
 $Q_s$  ... estoque de segurança (kg)  
 $t$  ... intervalo de tempo entre ressuprimento (h)  
 $V_s$  ... volume do silo (m<sup>3</sup>)  
 $\rho_{ap}$  ... massa específica aparente da matéria-prima (g/cm<sup>3</sup>)

Temos ainda:

- qualidade da matéria-prima = f (qualidade da conservação)
- qualidade da conservação = f (qualidade do isolante a materiais estranhos e à energia)

$$C_c = m_o$$

$$C_h = m_o \cdot n$$

$$Q_t = C_h \cdot t + Q_s$$

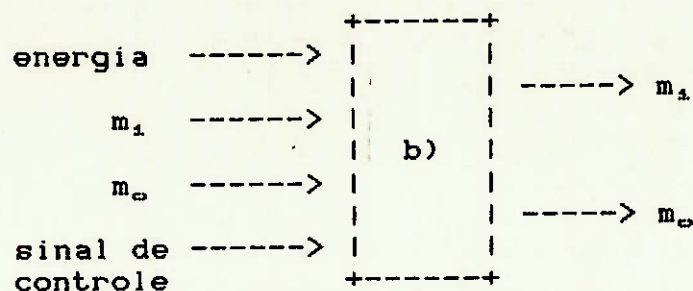
$$Q_s = 0,1 \cdot Q_t \quad > \quad \text{adotado}$$

Portanto:

$$Q_t = 1,1 \cdot \left( \frac{1-\beta+\delta}{1+\alpha} \right) \cdot m_{INJ} \cdot n \cdot t$$

$$V_s = \frac{Q_t}{\rho_p}$$

#### b- Transporte de matéria-prima<sup>1</sup>



A Fig. 08 (figura no anexo) mostra uma possível configuração:

(Para análise de compatibilidade:

$\alpha$  > ângulo de atrito

$l$  > maior dimensão da rebarba)

A Fig. 09 (vide figura no anexo) mostra, ainda esquematicamente, porém com mais detalhes, a válvula palheta

$z$  ... número de palhetas

$b$  ... largura (cm)

$n_p$  ... rotação da válvula (rpm)

$V_o$  ... volume de uma câmara (cm<sup>3</sup>)

$V_o$  ... vol. total deslocado por volta (cm<sup>3</sup>/volta)

<sup>1</sup> Para simplificação não consideramos a energia que sai do sub-sistema.

d ... diâmetro do cubo (cm)  
 D ... diâmetro externo (cm)  
 Cv ... eficiência volumétrica  
 l ... espessura da palheta (cm)

$$V_o = \left| \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot (D - d) \cdot e \cdot b}{4 \cdot z \cdot 2} \right|$$

$$V_o = C_v \cdot z \cdot V_o$$

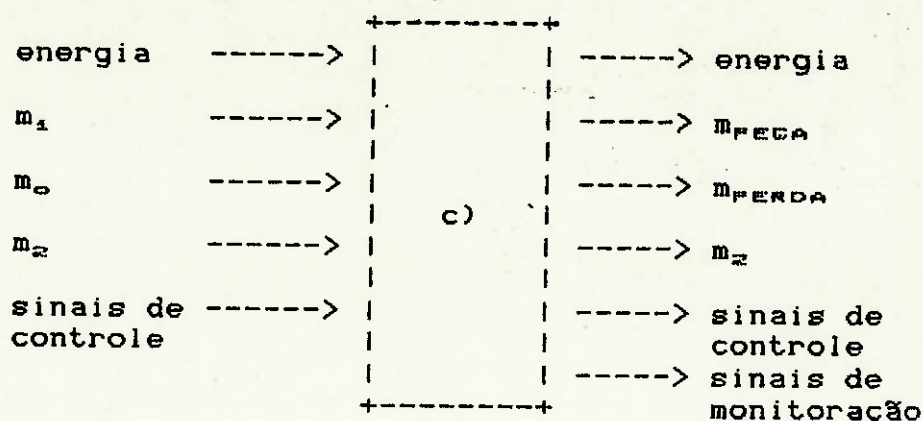
$$m_o \cdot n = \frac{V_o \cdot n_p \cdot 60 \cdot \rho_{ap}}{1000} \quad (*)$$

Além disso:

energia gasta = f (m<sub>o</sub>, n, Cv, atritos, etc)  
 ruído emitido = f (n<sub>p</sub>, material das palhetas, isolamento, etc)

igualdade expressa em (\*) = f (sinais de controle, características do sub-sistema, etc)

### c-Sistema de injeção<sup>2</sup>



Cp ... capacidade de processamento (kg/h)  
 Vc ... vol. máximo injetado por ciclo (cm<sup>3</sup>)  
 ρ ... densidade real do polímero (ou da mistura polímero + insumos) (g/cm<sup>3</sup>)  
 n ... número de ciclos/hora  
 t ... tempo para completar um ciclo (s)  
 V ... volume injetado por ciclo (cm<sup>3</sup>)  
 t<sub>mín.</sub> ... tempo mínimo necessário para completar um ciclo (s)

<sup>2</sup> Admitimos uma realimentação de informações interna para o controle do sub-sistema (trata-se de uma máquina de injeção automática).

P ... pressão de injeção (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 T ... temperatura na região do bico de injeção,  
 imediatamente antes da injeção (°C)  
 Ce ... capacidade de processamento exigida (kg/h)

Cp		
Vc		
Pmáx		parâmetros da máquina de
Tmáx		injeção
tmín a seco		

tmín = f (V, qualidade da peça, características da máquina)

P, T = f (tipo de polímero, características do molde, qualidade da peça)

t = f (V, características da máquina)

$$Ce = m_{INJ} \cdot n = m_{PEÇA} \cdot \frac{n}{1 - \beta}$$

$$V = \frac{1000 \cdot m_{INJ}}{\rho} = \frac{1000 \cdot m_{PEÇA}}{1 \cdot (1 - \beta)}$$

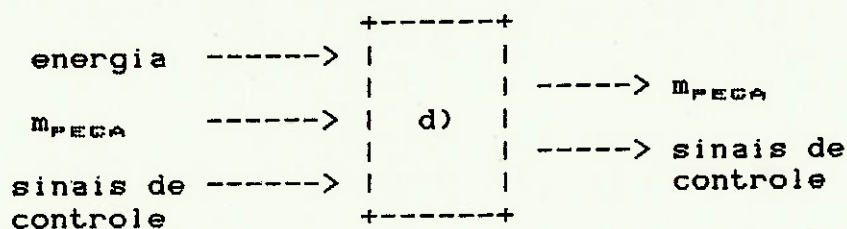
temperatura ao redor da máquina = f (T, isolamento, ventilação)

ruído emitido = f (n, características da máquina e do molde, isolamento, etc)

P, T reais = f (P e T exigidos, características da máquina, sinais de controle, transferência de calor, etc)

n = f (n exigido, sinais de controle)

#### d- Transporte de peça acabada



O transporte de peça acabada será feita por correia, cujo esquema é mostrada na Fig. 10 (figura no anexo).

μ ... atrito entre correia e polia  
 B ... largura da correia (mm)  
 v ... velocidade da correia (m/s)  
 zc ... número de camadas da correia  
 Dp ... diâmetro da polia (mm)  
 a ... maior aresta da peça (mm)  
 L ... distância de transporte (m)

$G_o$  ... peso unitário da correia e roletes (N/m)  
 $f$  ... coeficiente de atrito  
 $Q'p$  ... capacidade exigida da correia (N/h)  
 $Nr$  ... potência exigida (kW)  
 $n_{polia}$  ... rotação da polia (rpm)  
 $g$  ... aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)  
 $Nm$  ... potência do motor (kW)  
 $C$  ... coeficiente que é função de  $L$   
 $\eta_{red}$  ... eficiência do redutor  
 $Cc$  ... massa transportada pela correia (kg/h)  
 $T$  ... força na correia (N)  
 $\alpha$  ... ângulo de abraçamento (rd)  
 $p$  ... passo - distância entre duas cargas discretas sobre a correia (m)  
 $m$  ... massa de 1 peça (g)  
 $\sigma_{adm}$  ... tensão admissível =  $\frac{rup}{coef. \text{ de segurança}}$  (N/cm lona)

ruído emitido =  $f$  (características da correia, redutor, motor,  $v$ , isolamento)

$$B = f(a, Q'p)$$

$$v = \frac{\gamma \cdot n_{polia}}{60} \cdot \frac{Dp}{1000} \quad Cc = m_{peca} \cdot n (*)$$

$$Q'p = g \cdot m_{peca} \cdot n \quad T_{máx} = \frac{1000 \cdot Nr}{v} \cdot \left(1 + \frac{1}{e^{\frac{\alpha}{2}}}\right)$$

$$Q'p = g \cdot \frac{B}{a} \cdot m_{peca} \cdot \frac{v}{p} \cdot 3600$$

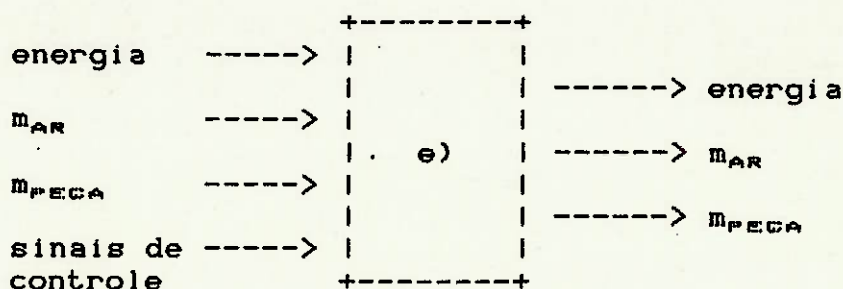
$$Ni = \frac{C \cdot f \cdot L}{1000} (G_o \cdot v + \frac{Q'p}{3600}) \quad \sigma = \frac{T}{B \cdot z}$$

$$Nm = \frac{Nr}{\eta_{red}} \quad Dp = f(z)$$

igualdade expressa em (\*) =  $f$  (sinais de controle, características do sub-sistema, inércia)

igualdade de segurança =  $f$  ( $z$ , flutuações de carga, material da correia)



e- Resfriamento

T<sub>pi</sub> ... temperatura inicial da peça (°C)

T<sub>pf</sub> ... temperatura final da peça (°C)

Δt ... intervalo de tempo para ir de T<sub>pi</sub> a T<sub>pf</sub> (s)

h ... coeficiente de transferência de calor por convecção (J/ C.s.m²)

H ... perda de carga no interior da câmara de resfriamento (m)

H<sub>e</sub> ... carga na entrada da câmara (m)

H<sub>s</sub> ... carga na saída da câmara (m)

N<sub>r</sub> ... potência requerida (kW)

N<sub>m</sub> ... potência do motor (kW)

m<sub>ar</sub> ... massa de ar por ciclo (kg/ciclo)

v ... velocidade média do ar (m/s)

A<sub>p</sub> ... área exposta da peça (m²)

T<sub>ari</sub> ... temperatura inicial da ar (°C)

T<sub>arf</sub> ... temperatura final do ar (°C)

... rendimento do compressor (ventilador)

Nu ... número de Nusselt = (h.L/k = 0,37.Re<sup>0,4</sup>)

Re ... número de Reynolds = (V.D.ρ/μ)

Pr ... número de Prandtl = ( 0,7 para ar)

c<sub>ar</sub> ... calor específico do ar (kJ/kg.°C)

c<sub>m</sub> ... calor específico do termo-plástico (kJ/kg.°C)

k ... condutividade (W/m.°C)

T<sub>f</sub> ... temperatura média de película (°C)

T<sub>s</sub> ... temperatura de parede (da peça) (°C)

T<sub>ar</sub> ... temperatura do ar (°C)

$$\text{Perda de carga } H = p + \frac{v^2}{2g}$$

$$H = H_s = H$$

$$H = f(v, \text{ geometria da câmara, geometria da peça})$$

Temperaturas

$$T_f = \frac{T_{pi} + T_{ar}}{2} \quad T_p = \frac{T_{pi} + T_{pf}}{2} \quad T_{ar} = \frac{T_{ari} + T_{arf}}{2}$$

Calor trocado

$$Q_p = m_{PEÇA} \cdot C_M \cdot \Delta T_p = m_{PEÇA} \cdot C_M \cdot (T_{pf} - T_{pi})$$

$$Q_{ar} = m_{AR} \cdot C_{AR} \cdot \Delta T_{ar} = m_{AR} \cdot C_{AR} \cdot (T_{arf} - T_{ari})$$

$$Q_p = Q_{ar}$$

Troca de calor (supondo peça inteira, menor relação A/V)

$$Re = \frac{v \cdot D_p \cdot \rho}{\mu} \quad Nu = 0,37 \cdot Re^{0,8} = \frac{h \cdot L_p}{k_p}$$

(para escoamento com esfera)

$$q \cdot \Delta t = Q \quad \rightarrow \quad \Delta t = \frac{Q}{q}$$

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T = h \cdot A_p \cdot (T_p - T_{ar})$$

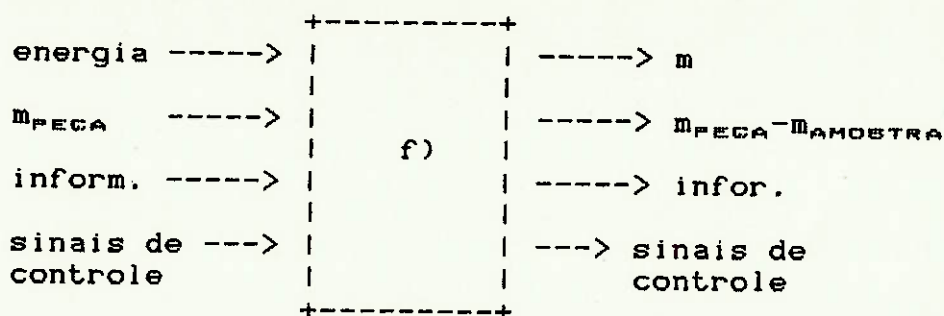
Potência

$$N_r = \frac{H \cdot m_{AR} \cdot n \cdot q}{3600} \quad (W)$$

$$N_c = N_r$$

$$N_m = \frac{N_c}{\eta_c}$$

#### f- Controle de peça acabada



O controle será através de inspeção por amostragem, usando gráfico de controle.

Elementos controlados:

- dimensões;
- formas;
- cor - tonalidade, uniformidade, brilho;
- qualidade superficial - imperfeições, rugosidade

- defeitos como: presença de rebarbas (corrigível) bolhas (importantes quando afetam a resistência da peça ou influem no seu acabamento), "chupagem", etc.

$C_c$  = custo de controle  $\rightarrow C_c = f(n)$

$C_n$  = custo de não-atendimento às especificações

$\rightarrow C_n = f(\text{possibilidade de perda do cliente, quantidade de material reprocessado, perda de tempo no processamento, etc})$

#### g- Ordenação do fluxo de peças

A função é permitir a entrada de apenas uma peça (ou grupo de peças) na embaladora, por vez.

A Fig. 11 mostra uma possível configuração para este sub-sistema.

Parâmetros:

$h$  ... altura (m)

$a$  ... abertura (m)

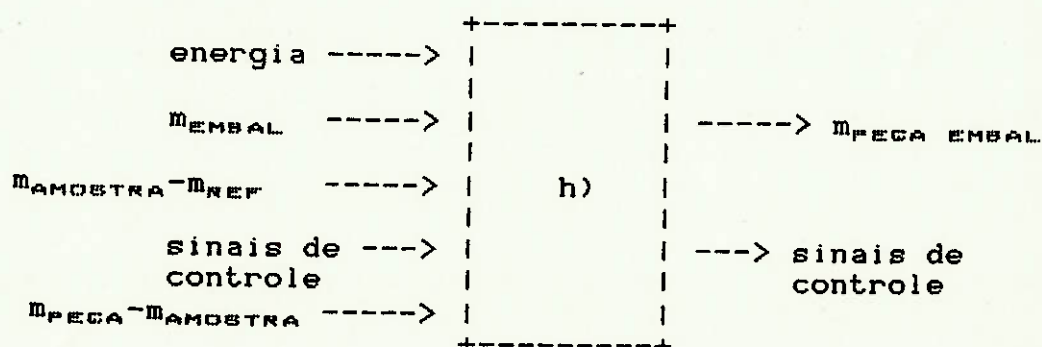
$z$  ... número de aberturas

A abertura  $a$  e a altura  $h$  são funções da geometria da peça (formato e forma).

O número de aberturas é um parâmetro que relaciona a rotação deste sub-sistema com o fluxo de entrada de peças.

$$\text{Fluxo de peças} = k.n.z$$

#### h- Embaladora

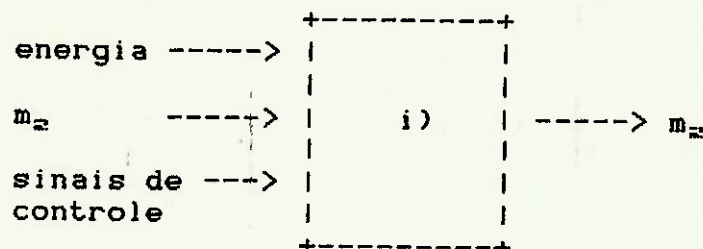


$C_e$  ... capacidade exigida  
 $n$  ... número de ciclos por hora  
 $t$  ... tempo para completar um ciclo (s)  
 $z$  ... número de peças numa única embalagem  
 $t_{mín}$  ... tempo mínimo para completar um ciclo (s)  
 $b, h$  ... dimensões da abertura da embalagem (mm)  
 $C_{pl}$  ... capacidade de processamento (kg/h)  
 $f_l$  ... fluxo de peças (peças/h)

$t_{mín} = f(z, f_l, \text{características da máquina})$   
 $t = f(z, f_l, \text{características da máquina})$

$C_e = (m_{PEÇA} - m_{REF})^3 \text{ (kg/h) (x)}$   
 $\text{ruído emitido} = f(n, \text{características da máquina, isolamento, etc})$   
 $n = f(n \text{ exigido, sinais de controle})$

### 1- Transporte de rebarba



O transporte de rebarba será feito por correia, cujo esquema é mostrado na Fig. 10.

$\mu$  ... atrito entre correia e polia  
 $B$  ... largura da correia (mm)  
 $v$  ... velocidade da correia (m/s)  
 $z_c$  ... número de camadas da correia  
 $D_p$  ... diâmetro da polia (mm)  
 $a$  ... maior aresta da rebarba (mm)  
 $L$  ... distância de transporte (mm)  
 $G_o$  ... peso unitário da correia e roletes (N/m)  
 $f$  ... coeficiente de atrito  
 $Q'p$  ... capacidade exigida da correia (N/h)  
 $N_r$  ... potência exigida (kW)  
 $n$  ... rotação da polia (rpm)  
 $g$  ... aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)  
 $N_m$  ... potência do motor (kW)  
 $C$  ... coeficiente  $C = f(L)$   
 $\eta_{red}$  ... eficiência do redutor  
 $\dot{C}_c$  ... massa transportada pela correia (kg/h)

3 Observe que esta  $m_{REF}$  refere-se apenas às peças não aceitas na máquina.

T ... força na correia (N)  
 $\alpha$  ... ângulo de abraçamento  
 H ... altura de elevação (m)  
 p ... passo (m)  
 h ... altura da travessa (m)  
 z ... número de travessas  
 m ... massa transportada por passo (kg)

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{rup}}{\text{coef. de seg.}} \quad (\text{N/cm lona})$$

ruído emitido = f (características da correia, redutor e motor, v, isolamento)

$$B = f(a, Q'p)$$

$$m_{passo} = f(h, p, B) \quad Cc = m_2 \cdot n \quad (*)$$

$$v = \frac{\eta \cdot n_{polia} \cdot Dp}{60 \cdot 1000} \quad T_{máx} = \frac{1000 \cdot Nr}{v} \cdot \left( J + \frac{1}{e^{\mu - J}} \right)$$

$$Q'p = g \cdot m_{REBARBA} \cdot n = g \cdot m_2 \cdot n$$

$$Nr = \frac{C \cdot f \cdot L}{1000} \cdot |Go \cdot v + \frac{Q'p}{3600}| + \frac{Q'p \cdot H}{3600000}$$

$$Nm = \frac{Nr}{\eta_{red}}$$

$$\sigma = \frac{T}{B \cdot z}$$

$$L = L_0 \cdot \cos \alpha$$

igualdade expressa em (\*) = f (sinais de controle, características de sub-sistema)  
 coeficiente de segurança = f (z, flutuações de carga, material da correia)



## CAPÍTULO 7

## ANALISE DE SENSIBILIDADE

Observando o sistema como um todo, o ciclo de injeção é o fator que determina o ciclo da máquina, e depende basicamente das características da máquina de injeção, da produção requerida e da qualidade da peça desejada.

$$\frac{V.l}{t} = \text{massa processada na unidade de tempo}$$

$$\frac{m_{PEÇA} . n}{3600 . (1-\beta)} = \text{massa processada na unidade de tempo}$$

$$m_{PEÇA} . n = \frac{z . m'}{22 . 16 . 0,9} = 126,263 \text{ kg/h}$$

z ... número de peças/mês

m' ... massa de uma peça (kg)

22 ... dias úteis/mês

16 ... horas de trabalho/dia

0,9... porcentagem de tempo efetivamente em trabalho

$$\frac{m_{PEÇA} . n}{3600 . (1-\beta)} = 50 \text{ g/s}$$

$$\frac{V.l}{t} \geq 50 \text{ g/s}$$

$$\text{Adotando } f_{MÉDIO} = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$\frac{V}{t} = 50 \text{ cm}^3/\text{s} \quad \text{ou} \quad \frac{V_{máx}}{t_{mín}} \geq 50 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$t_{mín} = f(V, \text{qualidade da peça, características da máquina})$

$V_{máx} = f(\text{características da máquina})$

A Fig. 12 mostra uma possível configuração do sistema, a partir do qual verificamos:

$$L = l + l_c$$

$$H = h + h_c$$

$$B = b + b_c$$

onde :

L ... comprimento total ocupado (m)  
 B ... largura total ocupada (m)  
 H ... altura total ocupada (m)  
 lc, bc espaço para circulação de operários e peças (m)  
 hc... espaço para permitir carregamento do silo, folga em relação ao teto, etc.(m)

$$lc = bc = 1,6 \text{ m} \quad hc = 0,5 \text{ m}$$

Assim, em relação ao espaço ocupado, temos l, h e b como parâmetros críticos. Com base na Fig. 06 podemos analisar também os acessos aos controles do sistema, os acessos à manutenção, à disposição dos sub-sistemas e a parte estética.

#### a- Estoque de matéria-prima

$$Vs = \frac{1,1}{\rho_{ap}} \cdot \left( \frac{1-\beta+\delta}{1+\alpha} \right) \cdot m_{INJ} \cdot n \cdot t$$

Para a produção desejada, adotando:  $\rho_{ap} = 0,4 \text{ g/cm}^3$   
 $\beta = 0,3$   
 $\delta = 0,03$   
 $\alpha = 0,1$   
 $t = 16 \text{ h}$

temos :  $m_{INJ} \cdot n = 180,4 \text{ kg/h}$

Portanto:  $Vs \geq 5,27 \text{ m}^3$ , e Vs, volume do silo, é o parâmetro crítico no sub-sistema de estoque de matéria-prima.

Temos que considerar também o isolamento do silo como crítico, pois deve-se manter a qualidade da matéria-prima enquanto estocada.

#### b- Transporte de matéria-prima

Temos, para a válvula de palheta que:

$$Vd = \frac{1000 \cdot m_p \cdot n}{np \cdot 60 \cdot \rho_{ap}} = \frac{1000 \cdot 120}{np \cdot 60 \cdot 0,4}$$

$$Vd = \frac{1250}{np} \frac{(\text{cm}^3)}{(\text{rpm})}$$

$n_p$  está relacionado com o ruído emitido, características do material da palheta e da sua geometria, além da energia gasta.

$V_d$  volume deslocado pela válvula por volta é o parâmetro crítico (geométrico) no transporte de matéria-prima.

Além de  $V_d$  temos também , ângulo de inclinação do silo, que também é crítico.

$\alpha_c > \text{ângulo de atrito.}$

#### c- Sistema de injeção

Sobre este sistema já nos referimos no início desta análise. Resta acrescentar entretanto, que a máquina a ser adquirida deve, além do controle automático do processo de injeção - requisito primordial, juntamente com a capacidade requerida de processo ( $V/t$ ), poder enviar sinais que, depois de convenientemente tratados e processados, irão controlar os outros sub-sistemas.

#### d- Transporte de peça acabada

Temos como parâmetros importantes B e z, pois:

- B define a capacidade da correia e a maior peça (maior aresta da peça) que pode ser transportada;
- z define o  $D_p$  (diâmetro da polia) que, por sua vez, é importante nas relações cinemáticas da correia;
- e ainda  $B.z \geq \frac{T_{\max}}{\sigma_{adm}}$  esforço sobre a correia

#### e- Resfriamento

Neste sub-sistema, os principais parâmetros inerentes ao sistema são geométricos, pois as dimensões e formas vão definir, entre outras coisas:

- perda de carga (afetada principalmente pela disposição de elementos dentro da câmara de resfriamento)

- coeficiente de película ou troca de calor  $h$  (através da velocidade relativa entre ar e peça, definido pela geometria do bocal e da câmara).

A quantidade de massa a ser resfriada é (por ciclo):  $m_{peça} = (1 - \beta) \cdot m$

#### f- Controle de peça acabada

Como o controle de peça acabada é feita fora do sistema, sua importância reside no fato de que vai fornecer informações para controlar o sistema (realimentação de informações).

#### g- Ordenação do fluxo de peças

Levamos em conta, nessa nossa análise de sensibilidade sobre a ordenação do fluxo de peças, a altura  $h$ , a abertura  $a$  e o valor de  $z$  (número de aberturas) que são os parâmetros críticos do sub-sistema. Em nosso Estudo de Viabilidade, estes parâmetros já foram abordados em profundidade.

#### h- Embaladora

Tal qual a máquina injetora, este sub-sistema também será adquirido pronto. Assim deve-se compatibilizar entre si os parâmetros da máquina e do sistema.

Os principais parâmetros da máquina são:

- dimensões da abertura da embalagem;
- capacidade;
- sistema de controle (pois receberá sinais do sistema para adequar-se a ele).

#### i- Transporte de rebarba

Dentro do sistema de transporte de rebarba encontramos 2 parâmetros críticos:

- largura da correia, definida à partir das variáveis  $a$  e  $Q'p$  onde :

a ... maior aresta da rebarba  
Q'p ... capacidade exigida da correia

- número de camadas da correia, definida a partir da tensão máxima admissível de transporte.

Estes parâmetros são críticos porque definem as dimensões e características de outros parâmetros envolvidos no sub-sistema como o diâmetro da polia, etc.



## CAPÍTULO 8

## ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE

As relações entre os sub-sistemas traduz-se no fluxo de massa, energia e informações. Desse modo os sub-sistemas devem ser compatíveis entre si segundo esses três elementos.

O tempo dispendido num ciclo em cada subsistema deve ser menor ou igual ao tempo de um ciclo do sistema, e, não sendo igual, a diferença deve ser a menor possível, para reduzir os tempos mortos.

Já observamos que o tempo do ciclo do sistema é dado pelo sistema de injeção, e portanto, em todos os outros sub-sistemas está definido qual o tempo máximo que pode utilizar.

O esquema geral apresentado na figura 06 permite observar algumas relações que devem ser obedecidas para que os sub-sistemas sejam compatíveis entre si, e que, segundo os modelos adotados, podem ser expressas por:

a- Estoque de matéria-prima

$$V = \frac{1,1 \cdot (1 - \beta + \delta) \cdot m \cdot n \cdot t}{\rho_{ap} \cdot (1 + \alpha)}$$

Indiretamente,  $V_s$  está limitado pelo espaço máximo que o sistema pode ocupar na fábrica.

b- Transporte de matéria-prima

Em cada ciclo, o fluxo de massa através deste sub-sistema deve ser  $m$ . A existência do cone permite ligeiras variações, porém para evitar que o fluxo de rebarbas obstrua o cone, a quantidade de matéria-prima em grânulos deve ser sempre a mínima possível.

$$V = \frac{1000 \cdot m_m \cdot n}{60 \cdot n_p \cdot \rho_{ap}} > \frac{1000 \cdot m_m \cdot n}{60 \cdot n_{pmax} \cdot \rho_{ap}}$$

Além disso:  $\alpha >$  ângulo de atrito  
 $c >$  maior aresta da rebarba

### c- Sistema de injeção

Para a máquina de injeção temos:

$$C_p > m_{INJ} \cdot n$$

Segundo cálculos anteriores -  $m_{PEÇA} \cdot n = 126,3 \text{ kg/h}$

Adotando-se  $\beta = 30\%$

Obtém-se :  $C_p > m_{INJ} \cdot n = 180,4 \text{ kg/h}$

### d- Transporte de peças acabada

O sistema de transporte por correia transportadora exige que alguns parâmetros sejam observados:

- A largura da correia (B) é função da aresta máxima da peça (a) e ( $Q'p$ ) capacidade exigida da correia. Assim sendo:

$$B > a$$

- Além disso, a largura B deve ser suficientemente grande para que a capacidade da correia p/ esta largura seja maior que a capacidade exigida.

$$Q_p(B) > Q'p$$

- A largura da correia também deve obedecer às condições de lay-out, onde não deve ultrapassar a largura de 3m.

$$B < 3m$$

- O número Z de camadas da correia deve obedecer às condições de tensão admissível, tração e a largura da correia da seguinte maneira:

$$Z_c > \frac{T_{máx}}{B \cdot \sigma_{adm}}$$

### e- Resfriamento das peças

O nosso sistema está baseado segundo princípios de troca de calor por convecção forçada. Assim sendo, o desempenho do sistema deve ser tal que o calor trocado por unidade de tempo Q obedeça:

$$Q > m_{PEÇA} \cdot n \cdot C_M \cdot T \quad \text{onde:}$$

$$m_{PEÇA} \cdot n = 126,26 \text{ kg/h}$$

$$C_M = 1400 \text{ J/kg. } C - \text{valor médio p/ polímeros}$$

$$T = 100 - 35 = 65 \text{ }^{\circ}\text{C} - \text{valores médios}$$

portanto:

$$Q > 1,15.10 \text{ J/h}$$

#### f- Controle de peças acabadas e ordenação de fluxo de peças

A altura  $h$  e a abertura  $a$  do sistema de controle devem ser tais que a peça possa entrar adequadamente.

Além disso:

$$\frac{\text{Fluxo de peças}}{n} < k \cdot Z$$

$n$  - rotação do controlador (rd/s)

$Z$  - número de aberturas

$k$  - constante dimensional

#### g- Transporte de rebarba

A análise de compatibilidade do transporte de rebarba é semelhante à que foi realizada no sub-sistema de transporte de peças acabadas, levando-se em conta, no entanto, a inclinação da correia que define a altura das travessas.

#### h- Embaladora<sup>1</sup>

As dimensões da abertura da embalagem devem ser tais que permitam a passagem da peça.

$$\text{Capacidade da embaladora} \geq \text{fluxo de peças}$$

<sup>1</sup> Para assegurar a compatibilidade entre os sub-sistemas, devemos compatibilizar também, os sinais de controle usando interfaces convenientes.

## CAPÍTULO 9

## ANALISE DE ESTABILIDADE

A partir de uma faixa previsível de entradas, o sistema será considerado estável se as saídas estiverem em níveis permissíveis.

Vamos inicialmente analisar cada sub-sistema em termos de fluxo de massa, energia e informações.

a- Estoque de matéria-prima

A entrada de matéria-prima é feita manualmente, e portanto, consideramos este sub-sistema estável (não há realimentação de informações).

b- Transporte de matéria-prima

No sub-sistema de injeção é conhecido com precisão (através do molde e das características do polímero) a massa processada em cada ciclo. Assim a quantidade de massa que a palheta envia ao cone pode ser controlada por um sinal enviado pelo sub-sistema de injeção. Mas para assegurar a estabilidade, o cone terá dois sensores para os níveis máximo e mínimo que também controlarão a válvula palheta.

Consideramos que estes sinais de controle são suficientes para assegurar que o cone não seja obstruído por excesso de material, nem que haja falta. A falta de material em si, não implica em consequências negativas para a segurança, apenas para o desempenho, sendo que neste caso, os efeitos podem ser facilmente notados e então se procede a correção. Para o excesso de material a situação é análoga, também apenas afetando o desempenho, mas não a segurança.

c- Sub-sistema de injeção

Admitimos, uma vez que será adquirido, que este sub-sistema é estável.

#### d- Transporte de peças acabadas

Aqui também, tal qual no transporte de matéria-prima, o sub-sistema de injeção enviará um sinal que controlará a velocidade da correia. As eventuais variações que consideramos admissíveis podem ser compensados pelo sub-sistema de ordenação do fluxo de peças.

#### e- Resfriamento das peças

Este sub-sistema vai operar para um desempenho adequado com o fluxo máximo de peças do sistema. Vamos considerar o sub-sistema resultante estável, já que o sub-sistema de injeção também o é. Uma pane no sistema de resfriamento é uma entrada não prevista.

#### f- Controle de peças acabadas e ordenação de fluxo de peças

Como o controle de peças é feito manualmente, ele é inerentemente estável.

O sub-sistema de ordenação do fluxo de peças será, tal qual os sub-sistemas citados nos itens b e d, controlado pelo sub-sistema de injeção. Assim sendo, como o sinal enviado pelo sub-sistema de injeção é do tipo discreto (houve injeção, não houve injeção) pouco sujeito a ruídos, admitiremos que este sub-sistema é estável.

#### g- Embaladora

O sub-sistema da embaladora em si será considerado estável, já que será um produto adquirido. O sinal de controle que entra no sub-sistema será enviado por um contador após a ordenação de peças, e sendo um sinal do tipo discreto, é menos sujeito a ruídos. O sub-sistema é então estável exceto em caso de pane que não é considerada como uma entrada prevista.



#### h- Transporte de rebarbas

Este sub-sistema é análogo ao citado no item d. O critério de estabilidade passa a ser que, o fluxo que sai deve ser tal que as rebarbas não se acumulem no cone, obstruindo-o, e também ser igual à aquele que entra no sub-sistema.

5 Na análise de estabilidade de cada sub-sistema levou-se em consideração que sua entrada é a saída da anterior, e também que o sub-sistema de injeção é aquele que envia os sinais de controle para o restante do sistema. Como consideramos este último, assim como os outros, estável, concluímos que o sistema como um todo é estável.

## CAPÍTULO 10

## OTIMIZAÇÃO

Para poder obedecer ao cronograma, não realizamos estudos formais para a otimização, existindo ainda o problema da limitação de recursos.

A otimização, com base no bom senso e intuição, foi orientada no sentido de menor custo, sendo esse custo formado pelos custos de amortização (do capital investido), depreciação e operação.

Deve-se levar em consideração que os requisitos enunciados na análise de viabilidade precisam ser atendidos, qualquer que seja a solução otimizada obtida.

Devido à complexidade do sistema como um todo, realizamos a otimização de cada sub-sistema, obedecendo aos requisitos e às exigências de compatibilidade e estabilidade.

\* a- Estoque de matéria-prima

O mínimo custo está associado ao custo de fabricação e custo de matéria-prima.

As dimensões do reservatório, porém, devem respeitar às limitações regionais impostas pelo projeto.

Estas limitações são:

- altura máxima : 1 m
- largura máxima : 3 m
- comprimento máximo : 3 m

$$V = \frac{1,1 \cdot m_{mj} \cdot n \cdot t \cdot (1 - \beta + \delta)}{\rho_{ap} \cdot (1 - \alpha)}$$

Valores adotados-  $\beta = 30\%$   
 $\rho_{ap} = 0,7 \text{ kg/l}$   
 $\delta = 3\%$   
 $\alpha = 0,1$

$$m_{INJ} \cdot n = 180,4 \text{ kg/h}$$

Variável - t (intervalo entre recarregamento)

Analisando-se a fórmula, encontramos  $V = 1505 \text{ l}$  que será o V ótimo, tendo em vista um tempo ideal ( $t = 8 \text{ h}$ ) para facilidade de mudanças de material, cor, etc.

Este tempo também coincide com o horário de troca de turnos, não necessitando portanto, de um tempo maior, o que encareceria o custo.

#### b- Transporte de matéria-prima

O mínimo custo está no custo de aquisição e operação.

$$\frac{V_D \cdot n_p \cdot 60 \cdot \rho_{ap}}{1000} = m_o \cdot n$$

Valores adotados -  $\rho_{ap} = 0,7 \text{ kg/l}$

$$\text{Então - } V_D \cdot n_p = \frac{m_o \cdot n \cdot 1000}{\rho_{ap} \cdot 60} = 2850 \text{ cm}^3 \cdot \text{rpm}$$

$$\text{Logo : } V \cdot n_p > 2850 \text{ cm}^3 \cdot \text{rpm}$$

Como a válvula será adquirida, a otimização será feita pela escolha do produto mais barato, que atenda à condição acima.

O motor de acionamento da válvula será de passo, pois seu custo é menor e seu controle é feito por sinais digitais.

#### c- Sistema de injeção

A máquina injetora automática também será adquirida, logo o custo mínimo está associado à sua aquisição e ao custo de operação.

Parâmetros a serem analisados:

- Capacidade de processamento
- Volume máximo de injeção
- Limitações dimensionais devido ao lay-out
- Capacidade de processamento > 180,4 kg/h
- Volume máximo de injeção: para uma mesma produção, se o volume máximo de injeção for maior, o tempo do ciclo será maior o que melhorará o acabamento das peças, bem como o desgaste da máquina.

Adotando-se o tempo de um ciclo como sendo de 10 segundos, teremos um volume injetado por ciclo equivalente a 500 cm<sup>3</sup>..

-Limites dimensionais:

$$l < 6 \text{ m}$$

$$b < 2 \text{ m}$$

$$h < 2 \text{ m}$$

d- Transporte de peças acabadas

O sistema de transporte de correias será comprado de terceiros. Seu custo mínimo está ligado ao sistema mais barato encontrado no mercado e que atenda aos requisitos previstos. Seu custo de operação também deve ter valor minimizado.

Parâmetros analisados:

- capacidade do sistema
- largura da correia
- limitações dimensionais
- Capacidade do sistema

Para a produção máxima prevista, temos:

$$Q' = 1237 \text{ N/h}$$

$$\text{E adotando: } G = 50 \text{ N/m}$$

$$\text{maior aresta da peça} = 15 \text{ cm}$$

$$\text{velocidade da correia} = 0,2 \text{ m/s}$$

$$\text{coef. de atrito } f = 0,1$$

$$c = 15$$

$$\text{passo entre as peças } p = 0,3 \text{ m}$$

Obtemos :

- Largura da correia  $B > 0,16 \text{ m}$   
 $Z > 0,53$      $Z=1$  camada  $p/ = 200 \text{ N/cm.cam}$   
 diâmetro da polia = 10 cm

- Limitação dimensional  
 $B < 0,3 \text{ m}$

Acreditamos que uma largura ótima seria  $B = 20 \text{ cm}$ ,  $Z = 1$  camada, pois deve ser o mínimo possível.

### e- Resfriamento das peças

A otimização neste sub-sistema se refere à diminuição de perda de carga e a maximização da troca de calor no início do resfriamento.

O sistema deverá ser capaz de retirar 3195 Watts.

Deve-se garantir também que não haja resfriamento irregular ao longo da superfície das peças, para evitar deformações.

### f- Controle de peças acabadas e ordenação do fluxo de peças

Otimizaremos o custo de fabricação do controlador e a compra do motor.

Parâmetros avaliados:

- número de aberturas: O número de aberturas adequados ao nosso sistema é 1 (um), pois 2 ou mais complicariam todo o processo.
- o tamanho da abertura deve ser regulável para cada tipo de peça:  $a = 20 \text{ cm}$
- A altura do tambor adequada deve ser de 10 cm
- A rotação do tambor deve ser maior ou igual a 42 rpm.

### g- Transporte de rebarba

A capacidade da correia será menor que a capacidade da correia para peças acabadas, pois a massa das rebarbas representa apenas 30% do material e além disso a distância de transporte também será menor.

$$Q' = 530 \text{ N/h}$$

Adotando:

$$G = 50 \text{ N/m}$$

maior aresta da rebarba = 20 cm

velocidade da correia = 0.2 m/s

coef. de atrito  $f = 0,1$

$c = 15$

passo entre as rebarbas = 2m

Largura da correia  $B > 20 \text{ cm}$  devido ao tamanho da aresta da rebarba



Observamos então:

Potência do motor  $N > 65$  Watts

$Z = 1$  camada

Diâmetro da polia = 10 cm

h- embaladora

Com base nos parâmetros estabelecidos, a otimização se fará pelo menor custo de aquisição da máquina embaladora.

Parâmetros avaliados:

- capacidade da máquina = 126 kg/h
- dimensões de abertura da embalagem -
  - largura = 25 cm
  - comprimento = 15 cm

## CAPÍTULO 11

## PREVISÕES PARA O FUTURO

EVOLUÇÃO DO MERCADO DE PEÇAS EM TERMOPLÁSTICO

No início da realização da análise de viabilidade, o mercado estava evoluindo de maneira satisfatória devido à recuperação do consumo após o plano de reforma econômica. Entretanto, os ajustes realizados recentemente conferem um certo grau de incerteza às previsões iniciais. A decisão de continuar o projeto leva em conta que existe uma forte tendência de substituição de materiais convencionais por termoplásticos e termofixos, o que garante, pelo menos em primeira instância, o crescimento do mercado. Aliado a isso, existe a política da empresa em aumentar sua participação no mercado, oferecendo mais produtos próprios.

OBSOLESCÊNCIA

Como não existe nenhuma evidência de se alterar os sistemas básicos de injeção de peças, acreditamos que o nosso sistema não corre o risco de obsolescência técnica, exceto na parte de controle. Entretanto um dos requisitos exigidos no estudo de viabilidade foi a capacidade de receber modernizações, que no nosso caso significa a possibilidade de implantação de um novo sistema de instrumentação, tratamento de dados e controle. Assim, caso seja necessário, pode-se implantar um sistema mais moderno numa fase futura. Isso implica num sistema com uma durabilidade relativamente alta, capaz de manter em níveis adequados, durante sua vida útil, os custos de manutenção.

## CAPÍTULO 12

## PREVISÃO DO TEMPO DE FUNCIONAMENTO

O sistema não está projetado para atender a demanda até o fim de sua vida útil. Admite-se que, caso seja uma alternativa viável no futuro, quando a demanda superar a capacidade do sistema, ele seja duplicado.

No item anterior concluiu-se pela necessidade de uma vida útil relativamente longa. O projeto executivo deve, portanto, levar isso em consideração. Acreditamos que, com a possibilidade de modernização do sistema, nos próximos 15 anos ele ainda seja competitivo economicamente com as opções que surgirem no mercado.

Observe que se trata de um sistema que não será oferecido no mercado, pois é de uso próprio, e portanto, não existe preocupações em relação à sua competitividade em termos de aceitação por outros usuários, já que a nossa empresa não pretende passar a fabricante de equipamentos.

## CAPÍTULO 13

## ENSAIOS E TESTES DURANTE A IMPLANTAÇÃO

Por não ser um produto fabricado em série, os ensaios e testes obedecerão a um cronograma de implantação dos sub-sistemas.

Começaremos com a implantação da máquina injetora que dará início à produção.

A seguir instalaremos o reservatório com a válvula de controle de fluxo (válvula de palhetas) os quais darão maior autonomia quanto à matéria-prima (recarregamento).

Nesta fase serão feitos testes de funcionamento da válvula assim como do sistema de controle. Pode-se colher dados para calibrar a rotação da válvula em função dos vários tipos de peças e regimes de trabalho.

Instala-se então o sub-sistema de resfriamento das peças e o principal parâmetro a ser testado é a deformação da peça, devido ao resfriamento irregular ou não suficientemente rápido. Este parâmetro nos fornece dados para calibrar a rotação do ventilador.

Feito isto, o próximo passo é a instalação do controlador de fluxo e a embaladora automática, pois um não há sentido um sem o outro.

Nesta fase tentaremos a adequação dos sub-sistemas de controle adotados.

Na última fase será instalado o sub-sistema de retorno da rebarba, com a coleta de dados referentes ao sistema de controle e a comprovação ou não da hipótese de que as rebarbas (canais de realimentação) não vão obstruir o cone de alimentação se entrarem ordenadamente.

As duas possibilidades de modificações a partir dos resultados dos testes são: a mudança do sistema de resfriamento, através do acréscimo de um sistema de aspersão de água antes da ventilação, para um resfriamento mais brusco das peças. Ou um acréscimo de um moinho no sistema de retorno de rebarba.

## CAPÍTULO 14

## SIMPLIFICAÇÕES

Reanalizando os requisitos exigidos observamos que não existe a necessidade de ordenar o fluxo de peças, exceto quando se trata de embalar individualmente, ou em número pequeno, as peças. Entretanto a empresa opera geralmente no atacado, sendo rara a necessidade de embalagens individuais.

Assim sendo, o sub-sistema de ordenação do fluxo de peças é dispensável, o que implica em diminuir custos e prazos de implantação.

Como os testes serão feitos durante a implantação, será nesta fase que novas simplificações (desde que convenientes, pois a construção do sub-sistema já foi realizada) serão feitas.

## CONCLUSÃO

Levando-se em consideração os prazos impostos, os recursos disponíveis, os requisitos exigidos, as hipóteses adotadas e as condições definidas, os parâmetros aqui definidos compoem uma solução ótima. Caso se mantenham as hipóteses e condições definidas, recomenda-se prosseguir o projeto, realizando a próxima etapa que seria o projeto executivo.

Obviamente não prosseguiremos em nosso estudo, pois não é este o nosso objetivo, mas fica anotado aqui que este é um estudo de um projeto que é viável e que pode ser aplicado em escala industrial.



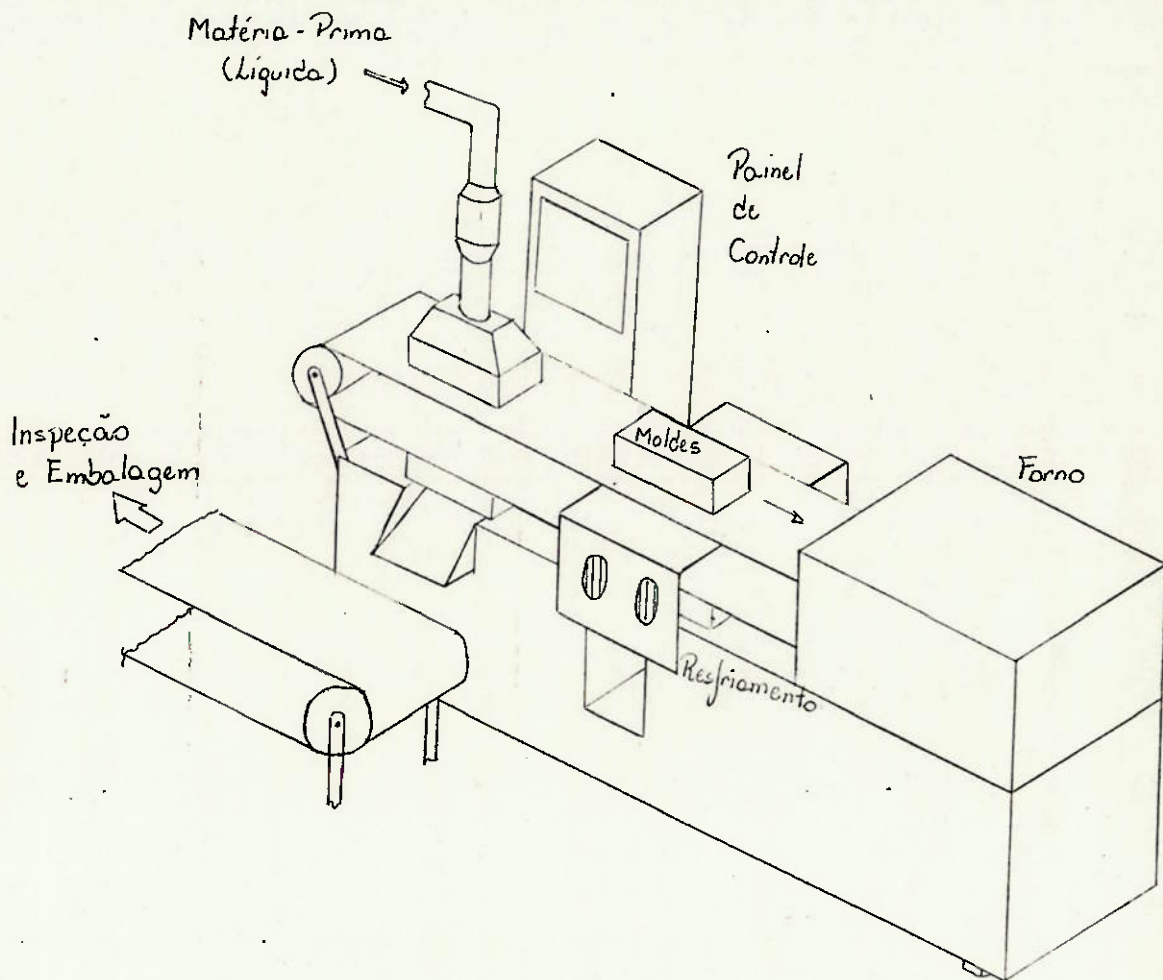


Fig. 01

<p>Escala</p> <p>—</p>	<p>Vista Esquemática</p> <p>Soluções A, B, C, D e E</p>	<p>Folha de</p> <p>Desenho</p> <p>Nº 01</p>
------------------------	---	---

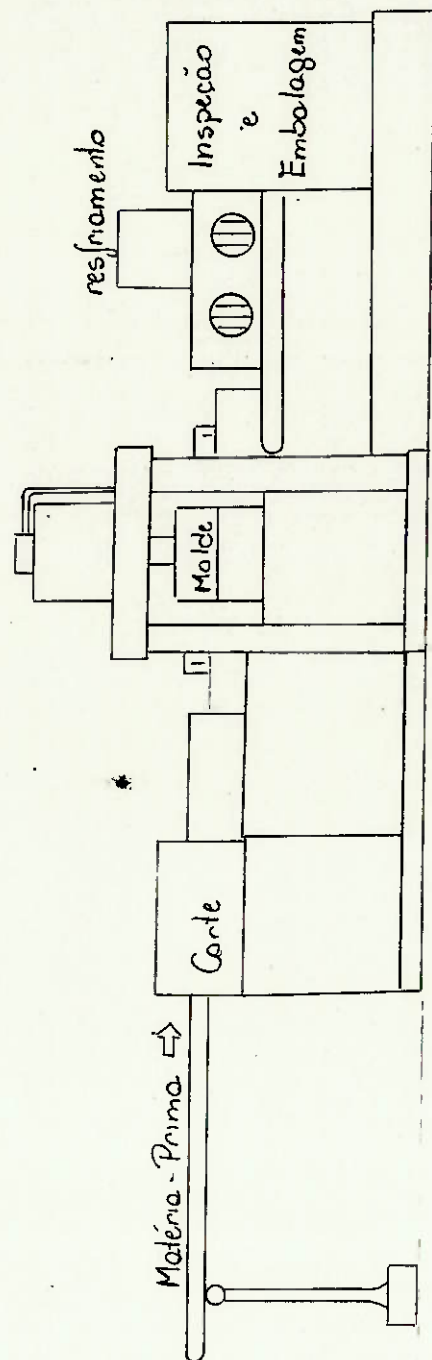


Fig. 02

Escala:	Vista Esquemática	Folha de
—	Solução F	Desenho N° 02

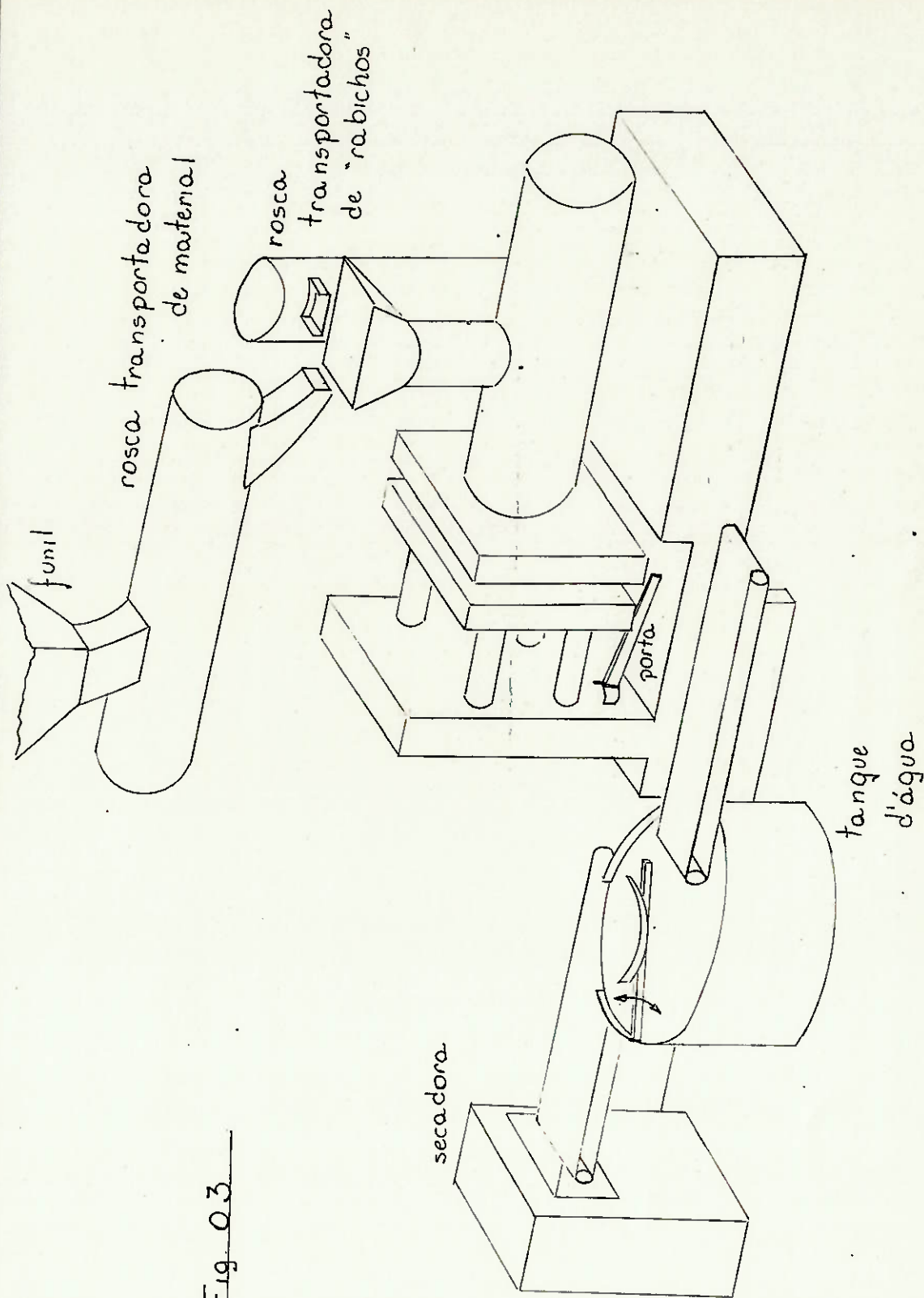
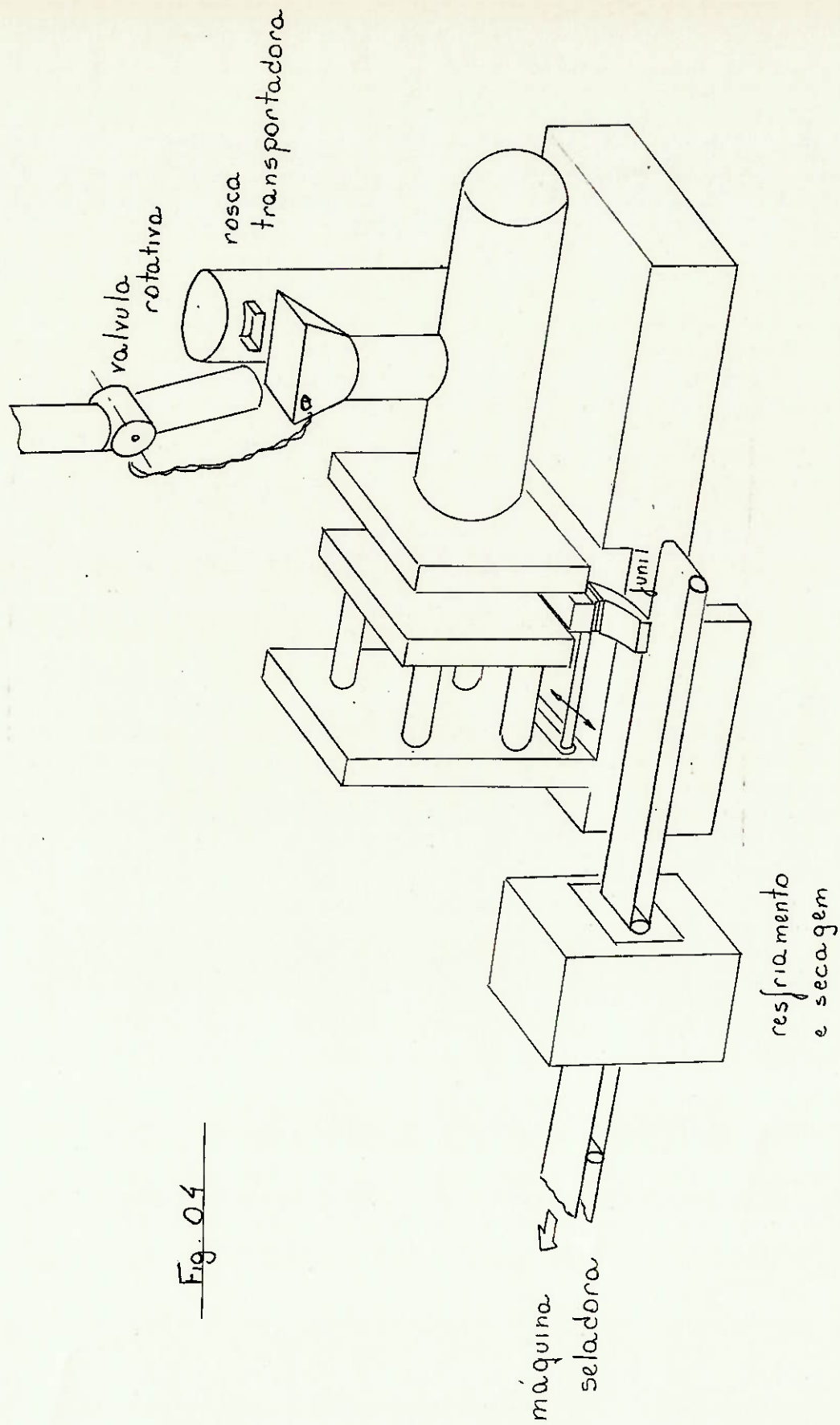


Fig. 03

Escala:	Vista Esquemática	Folha de
—	Solução G	Desenho Nº 03



Escala:

—

Vista Esquemática

Solução H

Folha de

Desenho  
Nº 04

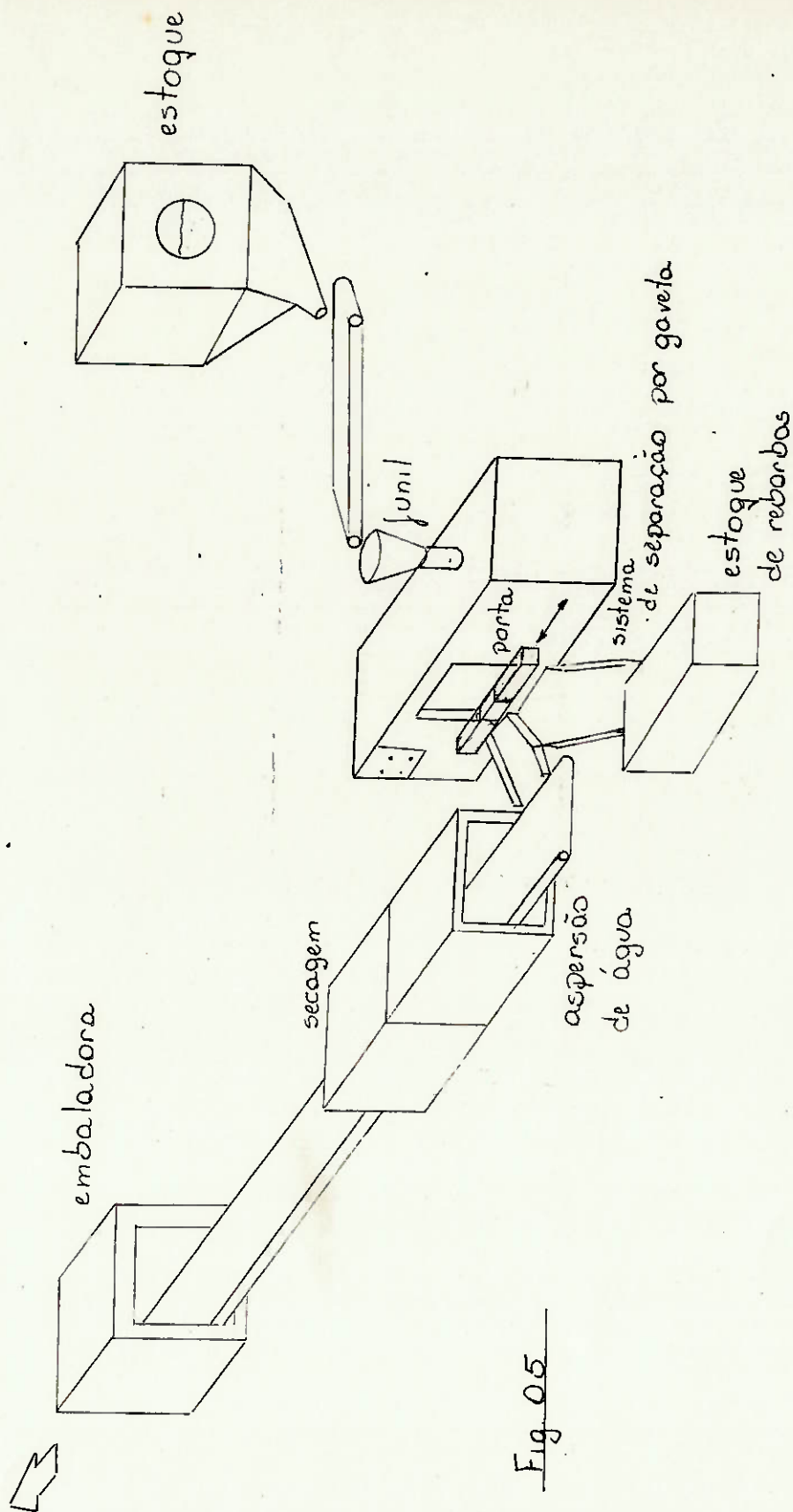


Fig. 05

Escola:	Vista Esquemática	Folha de
—	Solução I, J e K	Desenho N.º 05



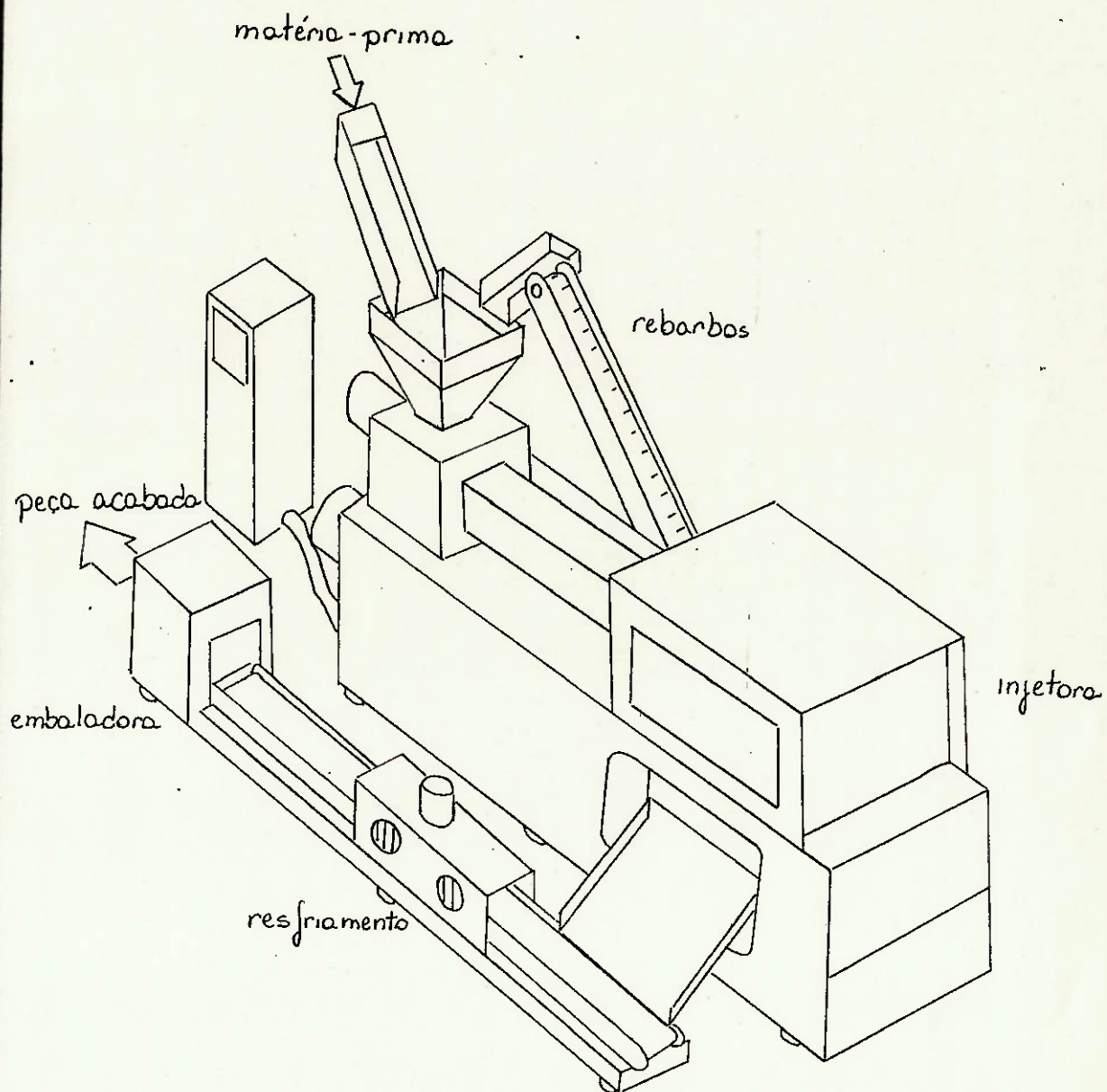


Fig 06

Escala:

—

Vista Esquemática  
Solução L

Folha  
de  
Desenho  
Nº 06



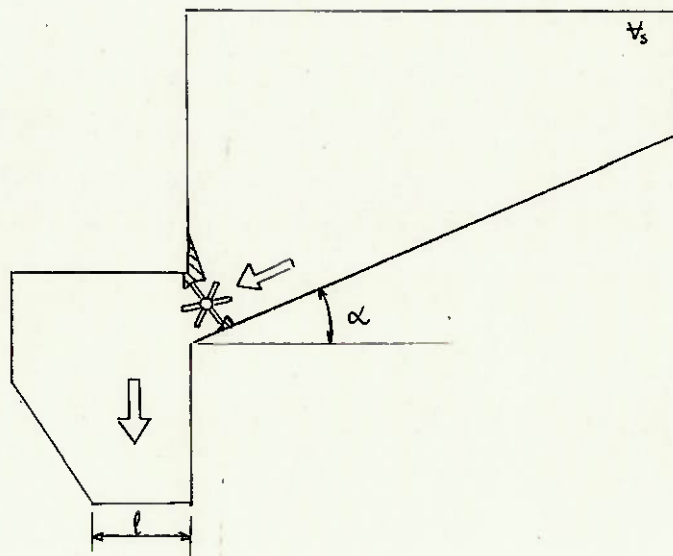


Fig. 08

Escala:

—

Configuração de Transportador de Matéria-Prima

Folha

de

Desenho

Nº 08

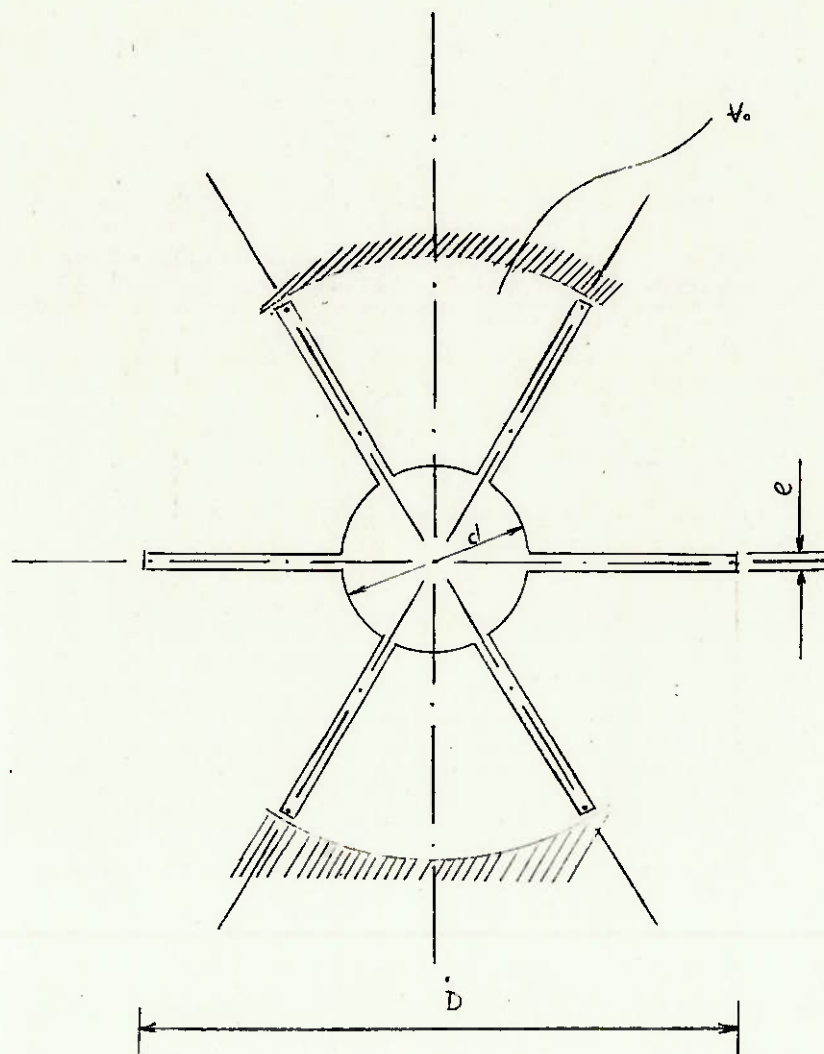


Fig. 09

Escola:

—

Esquema de Válvula de Palheta

Folha

de

Desenho

Nº 09

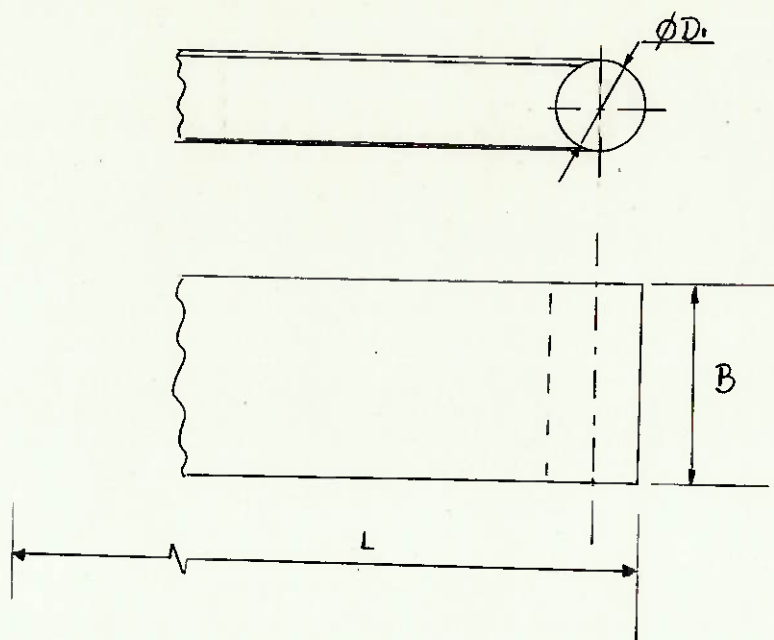


Fig. 10

Escala:

—

Esquema de  
Transportador de Pesa Acabada

Folha  
de

Desenho  
Nº 10



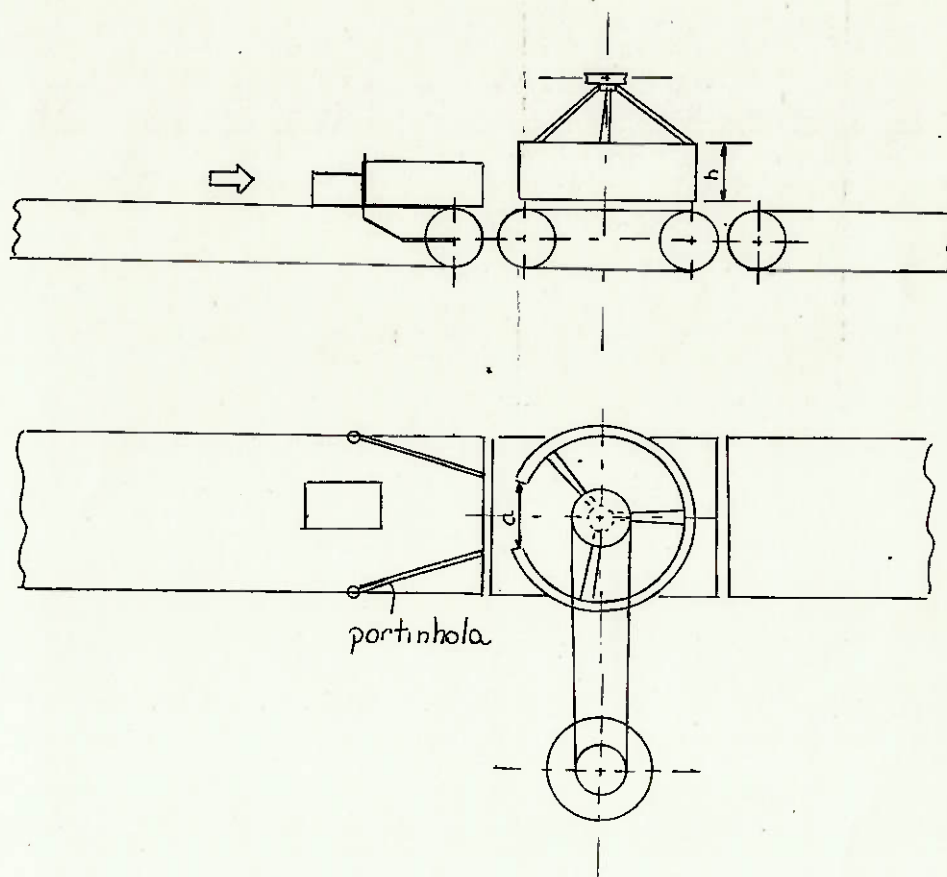


Fig. 11

Escala:

—

Configuração para Ordenação de Fluxo

Folha

de

Desenho

Nº 11



CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia Mecânica, vol. II. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1977.

MUTHER, Richard. Systematic Layout Planning, Boston, Industrial Education Institute, 1961.

PROVENZA, Francisco. Moldes para Plásticos, São Paulo, PRO-TEC, 1977.

SENAI - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, Plástico.

ARNO S.A. - Apostila de Orientação sobre Plásticos.

CATÁLOGO :

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, Máquinas para Plásticos.

INDÚSTRIA ROMI S.A. máquinas operatrizes.