

EEL - USP

Aula 2

Projeto do Produto, do processo e planejamento da produção

Prof. Dr. Geronimo

O processo de planejamento de instalações voltadas para a produção de montagem pode ser listado:

- 1. Definir os produtos a serem produzidos e/ou montados.**
- 2. Especificar os processos de produção e/ou montagem necessários e as atividades relacionadas.**
- 3. Determinar as relações em todas as atividades.**
- 4. Determinar as necessidades de espaço de todas as atividades.**
- 5. Gerar alternativas para o plano de instalações.**
- 6. Avaliar alternativas para o plano de instalações.**
- 7. Escolher o melhor plano de instalações.**
- 8. Implementar o plano de instalações.**
- 9. Manter e adaptar o plano de instalações.**
- 10. Atualizar os produtos a serem fabricados e/ou montados e redefinir o objetivo da instalação.**

Entre as perguntas a serem respondida antes da geração de alternativas de plano de instalações, temos:

1. O que deve ser produzido?
2. Como os produtos devem ser produzidos?
3. Quando os produtos devem ser produzidos?
4. Que quantidade de cada produto será produzida?
5. Por quanto tempo os produtos serão produzidos?
6. Onde os produtos serão produzidos?

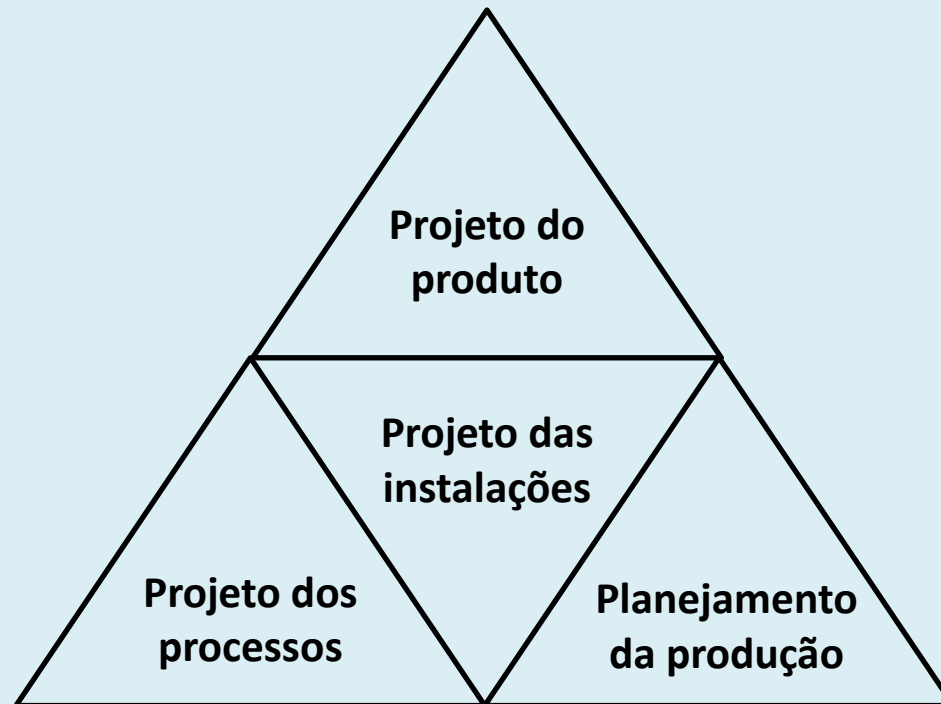
Respondida -
projeto do
produto;
- projeto de
processo e
- Planejamento
de produção

Poderia ser respondida pela determinação do local das instalações ou pelo planejamento da produção.
Mas responder a sexta pergunta não é fácil.

Muitas empresas possuem estratégias globais e utilizam combinações de terceirização da fabricação e montagem.

Portanto, um sistema dependerá do outro.

Relação entre o projeto de produtos, processos e o planejamento da produção e o planejamento de instalações



Projeto do Produto

- ✓ O projeto do produto envolve a determinação de quais produtos devem ser produzidos e do projeto detalhado de cada um deles.
- ✓ A decisão deve ser tomada pela alta administração com base nas informações do marketing, produção e finanças relativas ao desempenho econômico projetado.
- ✓ O projeto do produto é influenciado pela: estética, função, materiais, marketing, compras, controle de qualidade, etc.
- ✓ O produto deve satisfazer a necessidade do cliente.

As especificações operacionais detalhada são importante: Desenho,

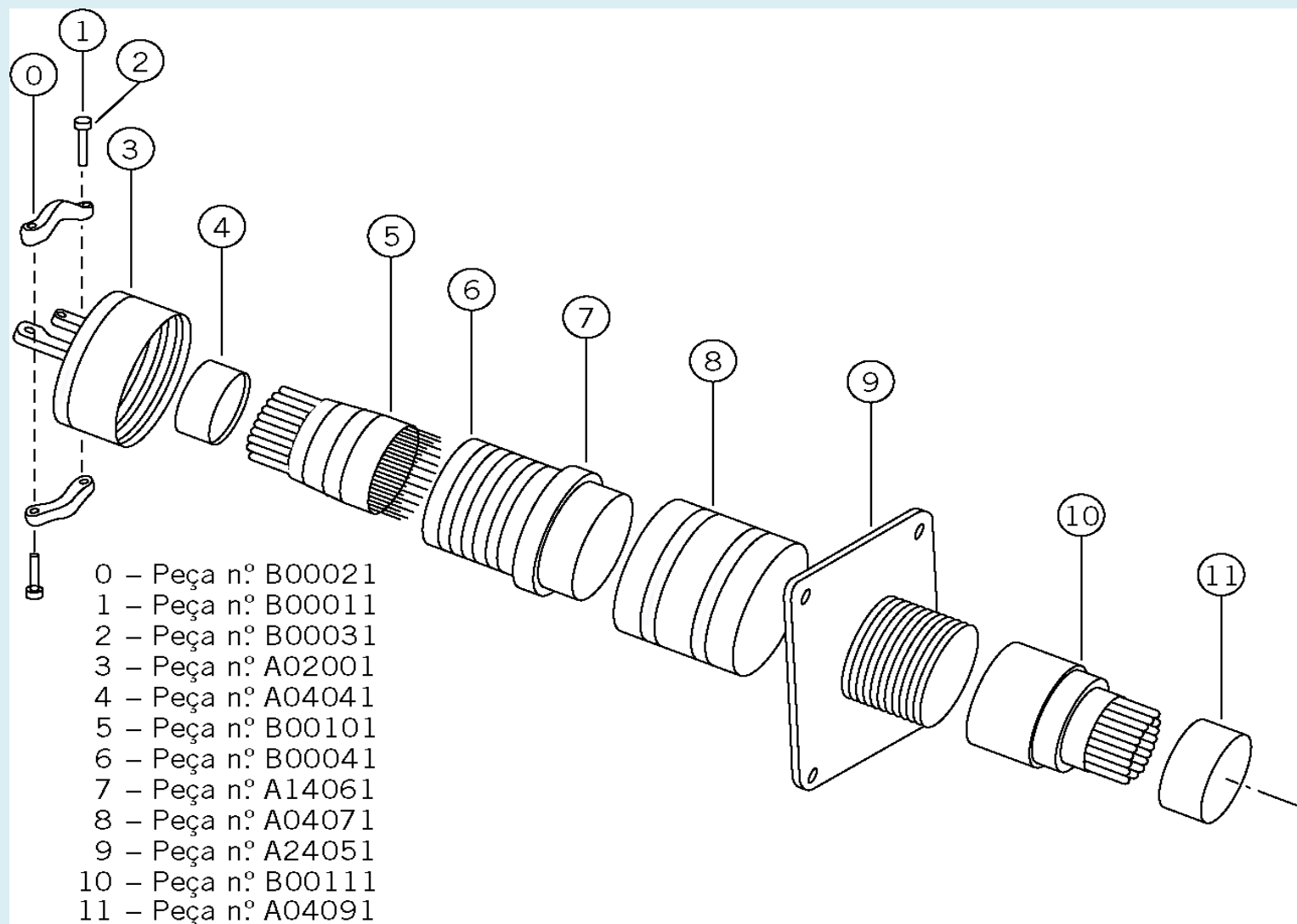


Figura 2.2 Desenho da explosão do produto.

O desenhos detalhados são necessários para cada peça componente fornecendo especificações e dimensões suficientes que permitam a sua fabricação.

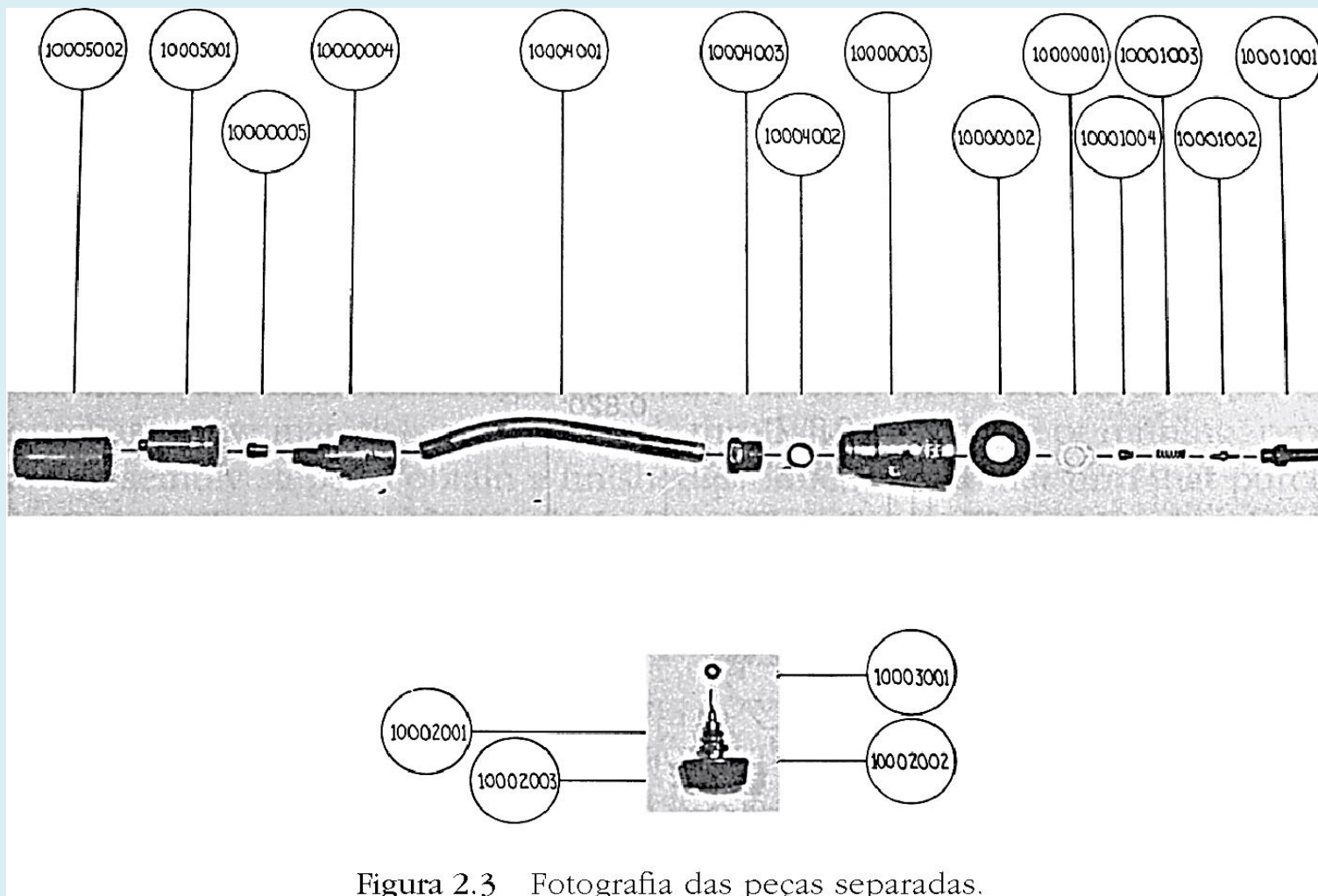
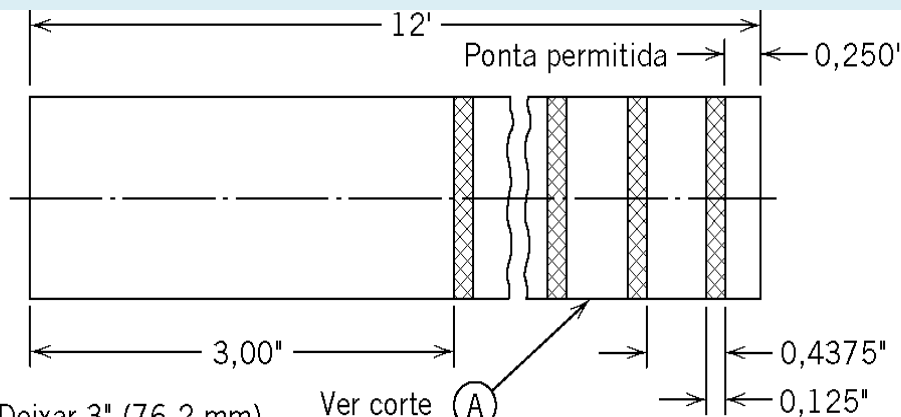


Figura 2.3 Fotografia das peças separadas.

- ✓ Os desenhos podem ser preparados e analisados com sistema de projetos assistido por computador (CAD).
- ✓ O sistema CAD consiste em um conjunto de muitos módulos de aplicativos sob um editor gráfico comum com suporte da base de dados. Interação humana e computador.
- ✓ O uso de software permite o planejador visualizar e testar ideias de uma maneira flexível.
- ✓ O CAD pode ser usado para medição de área, desenvolver projetos de edificações e interiores, arranjo físicos de mobiliário e equipamentos, diagramas de relacionamentos, geração de arranjos físicos de blocos e arranjos físicos detalhados em fábricas.

- A Engenharia Simultânea (ES) também pode ser utilizada para melhorar a relação entre a função de um componente e o seu custo.
- Permite: Considerações simultâneas dos fatores de ciclo de vida do produto, projeto, função, materiais, facilidade de manutenção, qualidade e confiabilidade.
- Estimar os custos de produção de um produto. Em torno de 70% dos custos.
- Software - Aspen plus.

Exemplo:

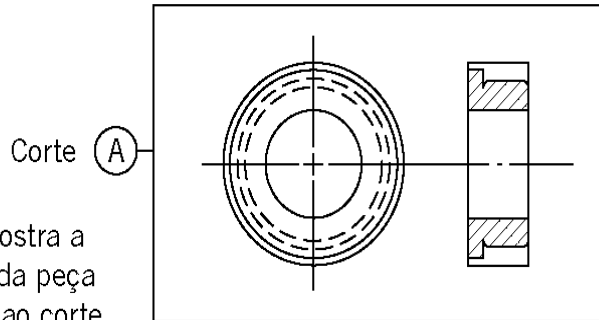


| | | |
|---------|---|-----------|
| 12' | = | 3657,6 mm |
| 0,250' | = | 76,2 mm |
| 3,00" | = | 76,2 mm |
| 0,4375" | = | 11,1 mm |
| 0,125" | = | 3,2 mm |

Obs.: Deixar 3" (76,2 mm) no final da barra para prender a peça.

Ver corte (A)

O hachurado mostra as partes do material deixadas para corte.



Corte A mostra a colocação da peça em relação ao corte do material.

Material
Barra de alumínio
1,25" de diâmetro × 12' de comprimento

Figura 2.4 Desenho de peça componente de um êmbolo.

Projeto do Processo

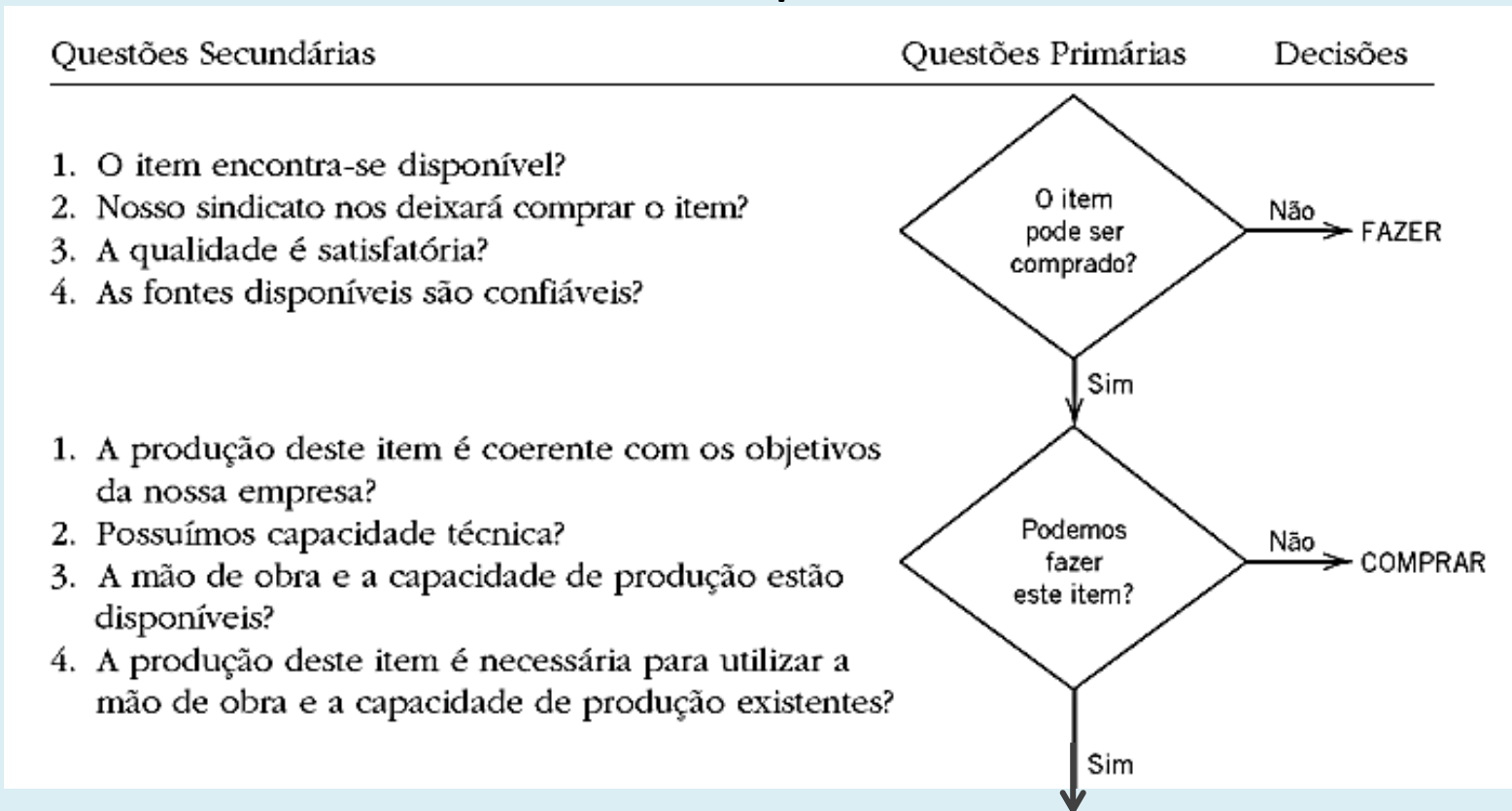
- ✓ O projetista é responsável por determinar como o produto deve ser produzido.
- ✓ Quem deve fazer o processamento?
- ✓ Um determinado produto, peça, subconjunto, deve ser produzido ou comprado?
- ✓ Como esta peça será produzido?
- ✓ Qual equipamento será utilizado?
- ✓ Quanto tempo a operação será realizada?

- ✓ O projeto final depende do projeto do produto e do planejamento da produção.

Identificação dos processos necessários

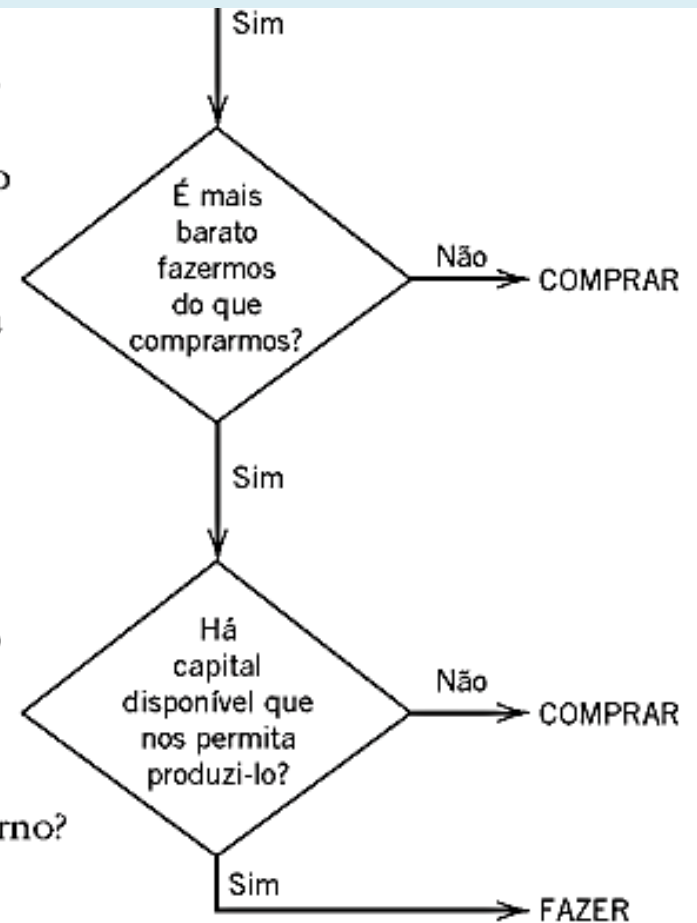
As decisões de fazer ou comprar são tipicamente decisões gerenciais e requerem informações de finanças, engenharia industrial, marketing, engenharia de processos, compras e, talvez, recursos humanos, entre outras. É necessário uma visão global.

Processo de decisão de fazer ou comprar



1. Quais são os métodos alternativos para a produção deste item?
2. Quais quantidades deste item serão demandadas no futuro?
3. Quais são os custos fixos, variáveis e de investimento dos métodos alternativos e da compra do item?
4. Quais são as questões de garantia do produto que impactam a compra ou a produção deste item?

1. Quais são as outras oportunidades para a utilização do nosso capital?
2. Quais são as implicações de investimentos futuros se este item for fabricado?
3. Quais são os custos de receber financiamento externo?



A lista de peças fornece uma listagem das peças componentes de um produto.

A lista de peças inclui:

- ✓ Números das peças
- ✓ Nomes das peças
- ✓ Quantidade de peças por produto
- ✓ Referências dos desenhos

| LISTA DE PEÇAS | | | | | | | |
|----------------|--------------------------|------------|---------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|
| Empresa | T.W., Inc. | | | Preparada por J.A. | | | |
| Produto | Regulador de Fluxo de Ar | | | Data _____ | | | |
| Peça Nº | Nome da Peça | Desenho Nº | Quantidade/ Unidade | Material | Tamanho | Unidades Métricas | Fazer ou Comprar |
| 1050 | Conexão da tubulação | 4006 | 1 | Aço | 0,50" × 1,00" | 1270,00 mm × 25,4 mm | Comprar |
| 2200 | Corpo | 1003 | 1 | Alumínio | 2,75" × 2,50" × 1,50" | 69,85 mm × 63,50 mm × 38,10 mm | Fazer |
| 3250 | Anel de assentamento | 1005 | 1 | Aço inox | 2,97" × 0,87" | 69,85 mm × 63,50 mm | Fazer |
| 3251 | Anel de vedação | — | 1 | Borracha | 0,75" dia. | D = 19,05 mm | Comprar |
| 3252 | Êmbolo | 1007 | 1 | Latão | 0,812" × 0,715" | 20,62 mm × 18,16 mm | Fazer |
| 3253 | Mola | — | 1 | Aço | 1,40" × 0,225" | 35,56 mm × 5,72 mm | Comprar |
| 3254 | Carcaça do êmbolo | 1009 | 1 | Alumínio | 1,60" × 0,225" | 40,64 mm × 5,72 mm | Fazer |
| 3255 | Anel de vedação | — | 1 | Borracha | 0,925" dia. | D = 23,50 mm | Comprar |
| 4150 | Retentor do êmbolo | 1011 | 1 | Alumínio | 0,42" × 1,20" | 10,67 mm × 30,48 mm | Fazer |
| 4250 | Porca | 4007 | 1 | Alumínio | 0,21" × 1,00" | 5,33 mm × 25,4 mm | Comprar |

Figura 2.7 Lista de peças de um regulador de fluxo de ar. Nota: a coluna com os valores convertidos para unidades métricas foi elaborada para esta edição traduzida. (N.E.)

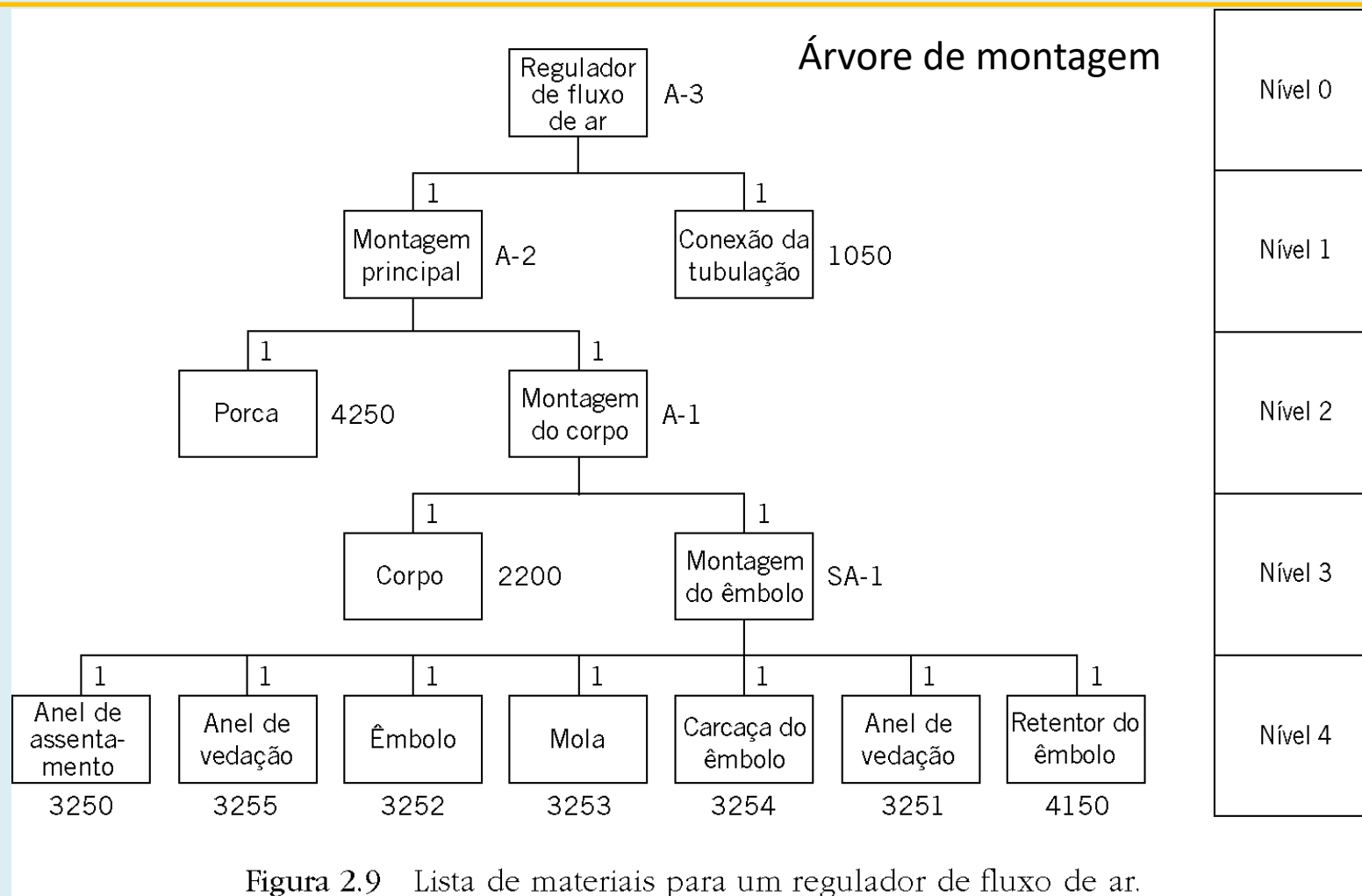
LISTA DE MATERIAIS

Empresa T. W., Inc. Preparada por J.A.
 Produto Regulador de Fluxo de Ar Data _____

| Nível | Peça Nº | Nome da Peça | Desenho Nº | Quantidade/ Unidade | Fazer ou Comprar | Comentários |
|-------|------------|--------------------------|---------------|------------------------|---------------------|-------------|
| 0 | 0021 | Regulador de Fluxo de Ar | 0999 | 1 | Fazer | |
| 1 | 1050 | Conexão da tubulação | 4006 | 1 | Comprar | |
| 1 | 6023 | Montagem principal | — | 1 | Fazer | |
| 2 | 4250 | Porca | 4007 | 1 | Comprar | |
| 2 | 6022 | Montagem do corpo | — | 1 | Fazer | |
| 3 | 2200 | Corpo | 1003 | 1 | Fazer | |
| 3 | 6021 | Montagem do êmbolo | — | 1 | Fazer | |
| 4 | 3250 | Anel de assentamento | 1005 | 1 | Fazer | |
| 4 | 3251 | Anel de vedação | — | 1 | Comprar | |
| 4 | 3252 | Êmbolo | 1007 | 1 | Fazer | |
| 4 | 3253 | Mola | — | 1 | Comprar | |
| 4 | 3254 | Carcaça do êmbolo | 1009 | 1 | Fazer | |
| 4 | 3255 | Anel de vedação | — | 1 | Comprar | |
| 4 | 4150 | Retentor do êmbolo | 1011 | 1 | Fazer | |



Figura 2.8 Lista de materiais para um regulador de fluxo de ar.



Nível 0 – Indica o produto final

Nível 1 – Aplica-se a submontagens e componentes que alimentam diretamente o produto final

Nível 2 – Refere-se às submontagens e componentes que alimentam diretamente o nível 1, e assim por diante

Seleção dos processos necessários

O procedimento de seleção de processos envolve as seguintes etapas:

- ✓ Etapa 1 - Definir as operações elementares
- ✓ Etapa 2 - Identificar os processos alternativos para cada operação
- ✓ Etapa 3 - Analisar os processos alternativos
- ✓ Etapa 4 - Padronizar os processos
- ✓ Etapa 5 - Avaliar os processos alternativos
- ✓ Etapa 6 - Selecionar os processos

Formar o roteiro de fabricação

ROTEIRO DE FABRICAÇÃO

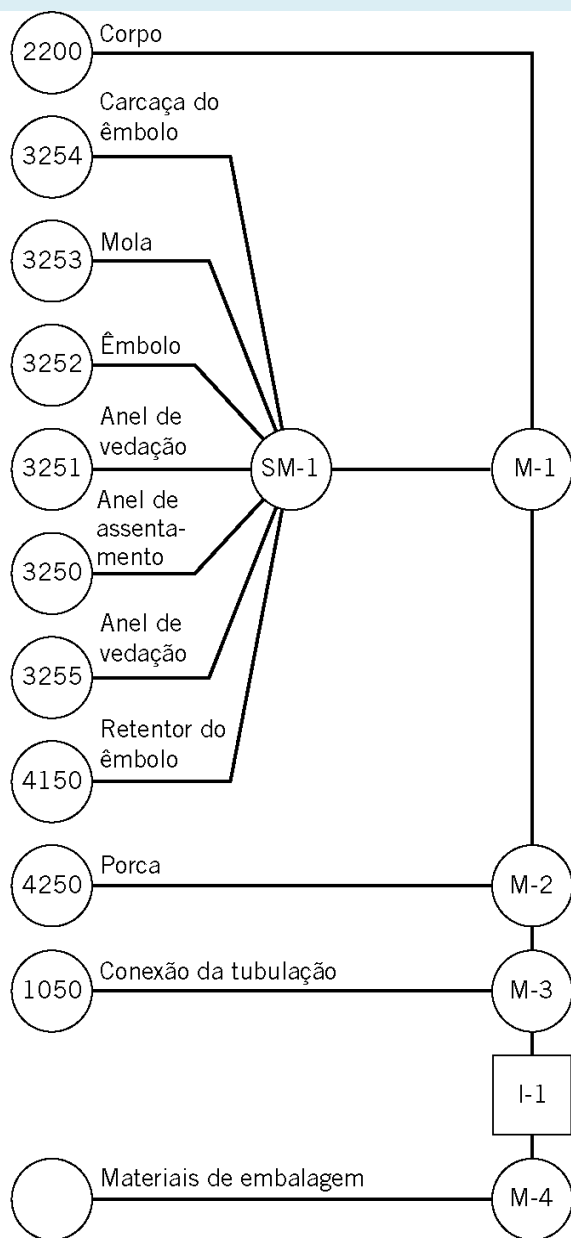
Empresa A.R.C., Inc. Nome da Peça Cilindro do Êmbolo Preparada por J.A.
 Produto Regulador de Fluxo de Ar Peça Nº 3254 Data _____

| Operação Nº | Descrição da Operação | Tipo de Máquina | Ferramental | Depto. | Tempo de Preparação (h) | Tempo de Operação (h) | Materiais ou Peças Descrição |
|-------------|---|----------------------|---|--------|-------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 0104 | Forma, furação, corte | Torno automático | Pinça com 0,5" dia., pinça de arraste, ferramenta de forma circular, broca de centro de 0,45", broca de 0,129", broca espiral para acabamento | | 5 | 0,0057 | Alumínio Di = 1" × 12' |
| 0204 | Usinar rasgo e rosca | Mandril | Rasgo de 0,045", suporte de castelo, com pente de 3/8-32 | | 2,25 | 0,0067 | |
| 0304 | Fazer 8 furos | Mandril automático | Broca 0,078" | | 1,25 | 0,0038 | |
| 0404 | Remover as rebarbas e passar jato de ar | Furadeira de bancada | Ferramenta para rebarbar com guia | | 0,5 | 0,0031 | |
| SA1 | Fechar submontagem | Prensa hidráulica | Nenhuma | | 0,25 | 0,0100 | |

Figura 2.10 Roteiro de fabricação de um componente do regulador de fluxo de ar.

Tabela 2.1 *Dados Necessários para o Roteiro de Fabricação*

| Dados | Exemplo de Produção |
|--------------------------------|--|
| Nome e número do componente | Carcaça do êmbolo – 3254 |
| Descrição e número da operação | Forma, furo e corte – 0104 |
| Equipamentos necessários | Torno automático e ferramental apropriado |
| Tempos unitários | Tempo de preparação – 5 h Tempo de operação – 0,0057 h por componente |
| Matérias-primas necessárias | Barra de alumínio D = 1" × 12' para 80 componentes |



Sequenciamentos dos processos necessários

SM – submontagens

M – montagens

M-1 – montagem 1,

Figura 2.11 Diagrama de montagem de um regulador de fluxo de ar.

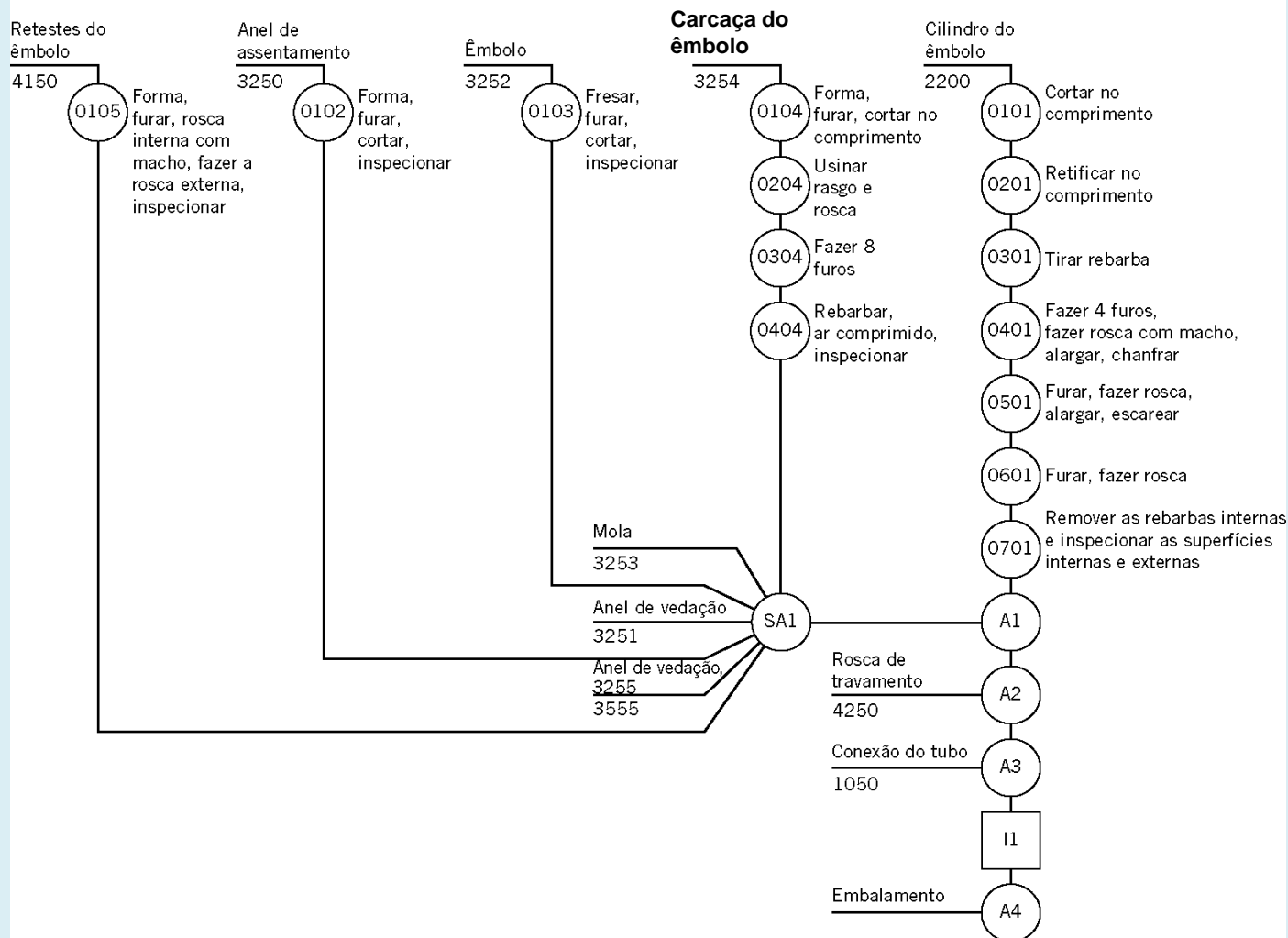
DIAGRAMA DE PROCESSO DE OPERAÇÃO

Empresa A.R.C., Inc.

Preparado por J. A.

Produto Regulador de Fluxo de Ar

Data _____

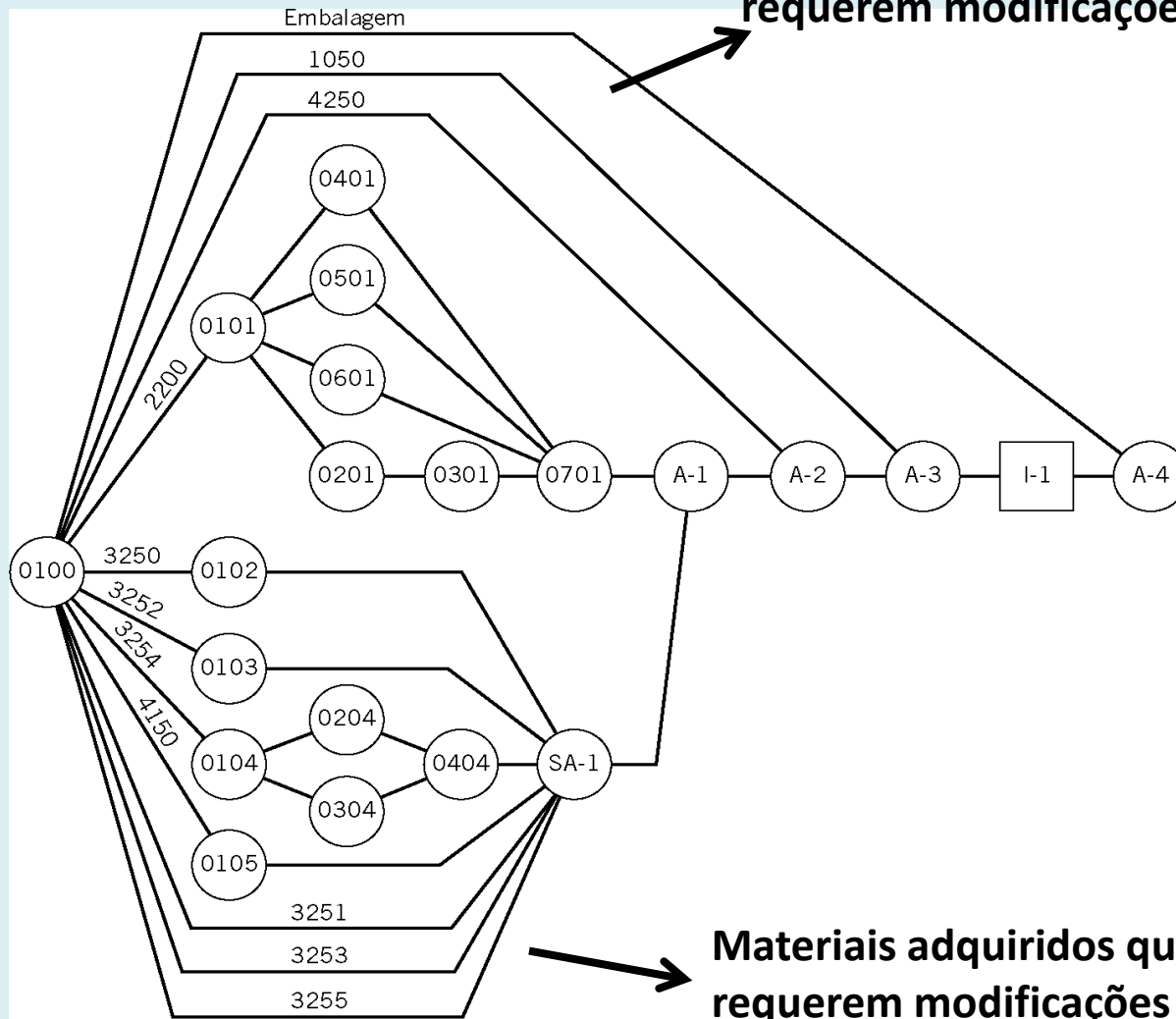


A – Assembly (montagem)

Figura 2.12 Diagrama de processo de operação para o regulador de fluxo de ar.

Diagrama de precedência

Materiais adquiridos que não requerem modificações



- ✓ Interligar o digrama de montagem e o diagrama de processo de operação.
- ✓ É uma rede direcionada que mostra os números de peças nos arcos e indica as operações e inspeções por meio de círculos e quadrados.

0100 – Operação de aquisição

Materiais adquiridos que não requerem modificações

Figura 2.13 Diagrama de precedência para o regulador de fluxo de ar.

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Quanto e quando produzir? → Planejamento da produção fornece a respostas
- As decisões do planejamento de produção afetam a escolha do tipo e número de máquinas, de turnos, de empregados, a necessidade de espaço, os equipamentos de armazenagem e de manuseio de materiais, os requisitos de pessoal, as políticas de armazenagem, o tamanho da edificação, etc.
- Os planejadores da produção precisam interagir continuamente com o pessoal de marketing e vendas.
- São necessárias informações de relativas aos volumes de produção, tendências e previsibilidade das demandas.

Planejamento da Produção

Informações de Marketing

Tabela 2.2 *Informações de Mercado Mínimas Necessárias para o Planejamento de Instalações*

| Produto ou Serviço | Volume do Primeiro Ano | Volume do Segundo Ano | Volume do Quinto Ano | Volume do Décimo Ano |
|--------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| A | 5000 | 5000 | 8000 | 10.000 |
| B | 8000 | 7500 | 3000 | 0 |
| C | 3500 | 3500 | 3500 | 4000 |
| D | 0 | 2000 | 3000 | 8000 |

Tabela 2.4 *Informações Importantes que Devem Ser Obtidas do Marketing e Utilizadas por um Planejador de Instalações*

| Informações a Serem Obtidas do Marketing | Questões do Planejamento de Instalações Afetadas pelas Informações |
|--|--|
| Quem são os consumidores do produto? | <ol style="list-style-type: none"> 1. Embalamento 2. Suscetibilidade a mudanças no produto 3. Suscetibilidade a mudanças nas estratégias de marketing |
| Onde estão localizados os consumidores? | <ol style="list-style-type: none"> 1. Localização das instalações 2. Método de expedição 3. Projeto de sistemas de armazenagem |
| Por que o consumidor irá comprar o produto? | <ol style="list-style-type: none"> 1. Sazonalidade 2. Variabilidade nas vendas 3. Embalamento |
| Onde o consumidor irá comprar o produto? | <ol style="list-style-type: none"> 1. Tamanho das cargas unitárias 2. Processamento de pedido 3. Embalamento |
| Que porcentagem do mercado é atraída pelo produto e quem é a concorrência? | <ol style="list-style-type: none"> 1. Tendências futuras 2. Potencial de crescimento 3. Necessidade de flexibilidade |
| Qual é a tendência de mudança do produto? | <ol style="list-style-type: none"> 1. Alocações de espaço 2. Métodos de manuseio de materiais 3. Necessidade de flexibilidade |

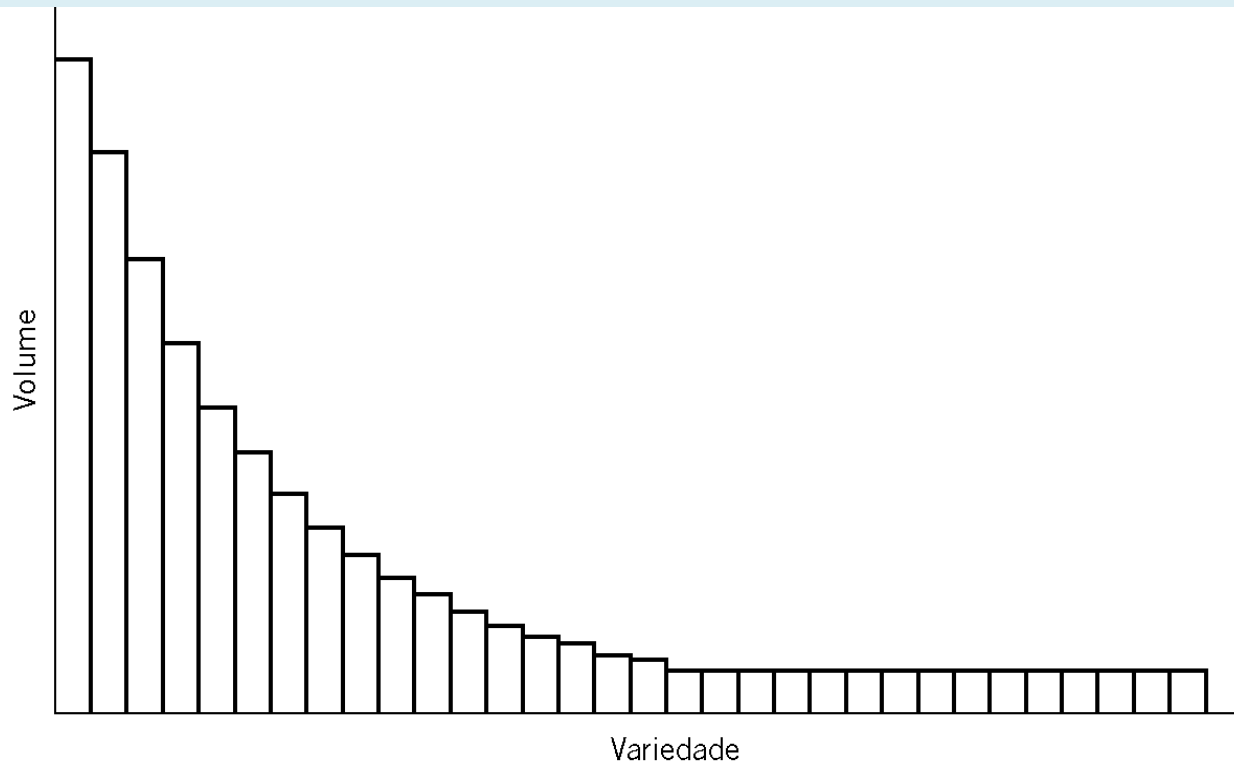


Figura 2.14 Gráfico volume-variedade de uma instalação onde o princípio de Pareto é aplicável.

Um economista italiano chamado Pareto observou que 85% da riqueza do mundo pertence a 15% das pessoas. Essa situação é retratada pelo gráfico volume-variedade o qual chamamos de **gráfico de Pareto**.

Esse gráfico sugere que o plano de instalações deve consistir em uma área de produção em massa para 15% dos itens de alto volume e um arranjo físico do tipo funcional para 85% restantes do mix de produtos.

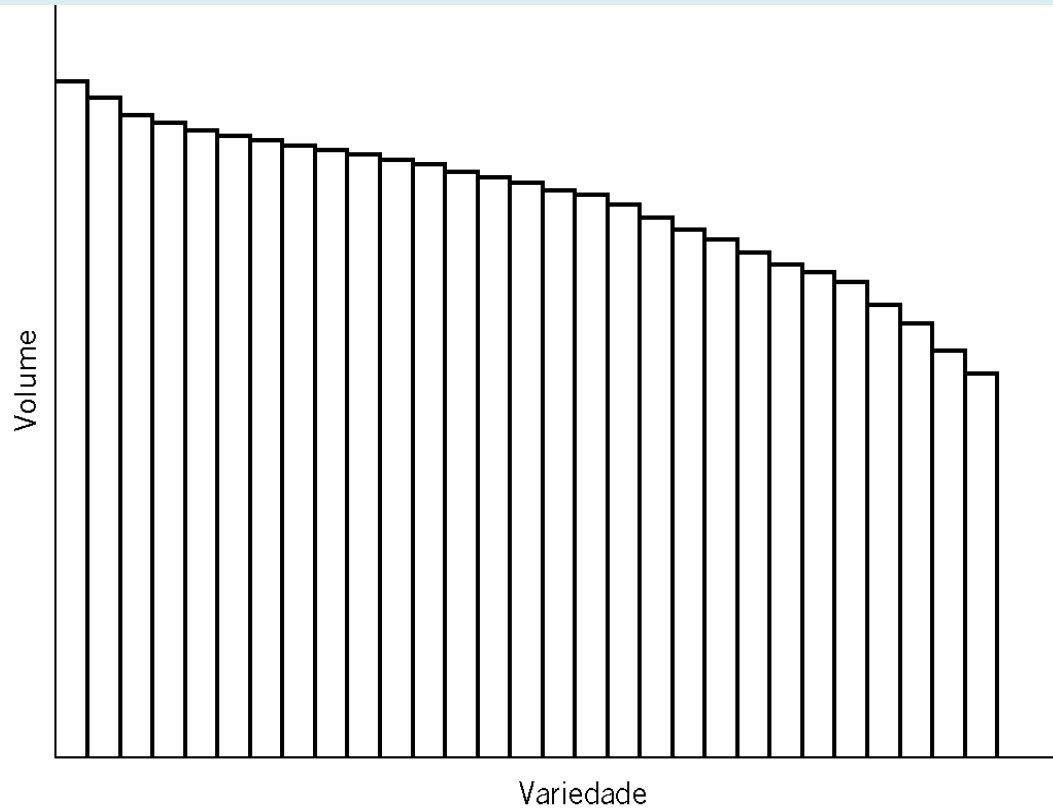


Figura 2.15 Gráfico volume-variedade de uma instalação onde o princípio de Pareto não é aplicável.

Tabela 2.3 *Análise de Mercado Indicando a Natureza Estocástica das Necessidades Futuras para o Planejamento de Instalações*

| Produto ou Serviço | Estado da Demanda | Primeiro Ano | | Segundo Ano | | Quinto Ano | | Décimo Ano | |
|---------------------------------------|-------------------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|
| | | Probabilidade | Volume | Probabilidade | Volume | Probabilidade | Volume | Probabilidade | Volume |
| A | Pessimista | 0,3 | 3000 | 0,2 | 3500 | 0,1 | 5500 | 0,1 | 7000 |
| | Mais provável | 0,5 | 5000 | 0,6 | 5500 | 0,8 | 8000 | 0,9 | 10.000 |
| | Otimista | 0,2 | 6000 | 0,2 | 6500 | 0,1 | 9500 | | |
| B | Pessimista | 0,1 | 7000 | | | | | | |
| | Mais provável | 0,6 | 8000 | 0,7 | 7000 | 0,9 | 3000 | 1,0 | 0 |
| | Otimista | 0,3 | 8500 | 0,3 | 8000 | 0,1 | 3500 | | |
| C | Pessimista | 0,2 | 2000 | 0,2 | 2000 | 0,2 | 2000 | 0,2 | 2000 |
| | Mais provável | 0,7 | 4000 | 0,7 | 4000 | 0,7 | 4000 | 0,6 | 4000 |
| | Otimista | 0,1 | 4500 | 0,1 | 4500 | 0,1 | 4500 | 0,2 | 5000 |
| D | Pessimista | | | 0,1 | 1500 | 0,1 | 2500 | 0,2 | 7000 |
| | Mais provável | 1,0 | 0 | 0,9 | 2000 | 0,8 | 3000 | 0,6 | 8000 |
| | Otimista | | | | | 0,1 | 3500 | 0,2 | 9000 |
| Nível de confiança ou grau de certeza | | 90% | | 85% | | 70% | | 59% | |

Cálculos das necessidades de produção

➤ O que se quer na produção?

Resposta: **Zero defeitos.**

➤ Pra isso é necessário: Processo automatizado, tolerância menos rígida, fornecedores certificados com qualidade, técnicas de prevenção de erros e uso de materiais de alta qualidade.

➤ Vejamos as equações necessárias:

d_k – a porcentagem de itens defeituosos produzidos na k-enésima operação

S_k – a saída resultado desejada sem defeitos

E_k – a entrada da produção

$$S_k = E_k - d_k E_k = E_k (1 - d_k) \quad \rightarrow \quad \text{Assim} \quad E_k = \frac{S_k}{(1 - d_k)}$$

Para os produtos com n operações sequenciais, o número de unidades esperado para começar a produção na primeira operação é:

$$S_n = E_1 (1 - d_1)(1 - d_2) \dots (1 - d_n), \text{ ou}$$

$$E_1 = \frac{S_n}{(1 - d_1)(1 - d_2) \dots (1 - d_n)}$$

Em que S_n é o volume de produção para o produto final,

E_1 – primeira operação

Exemplo 1

Um produto tem uma estimativa de mercado de 97.000 componentes e requer três etapas de processamento (torneamento, fresamento e furação), tendo estimativas de defeitos de $d_1 = 0,04$, $d_2 = 0,01$ e $d_3 = 0,03$. A estimativa de mercado é a saída da etapa 3.

$$E_3 = \frac{97.000}{1 - 0,03} = 100.000$$

Supondo não haver danos nas operações 2 e 3, e havendo uma operação de inspeção para remover todos os itens com defeitos, a saída de componentes bons da operação 2 (S_2) pode ser igualada à entrada na operação 3 (S_3). Então, o número dos componentes para a operação 2 (S_2) é

$$E_2 = \frac{100.000}{1 - 0,01} = 101.010$$

Do mesmo modo para a operação 1

$$E_1 = \frac{101.010}{1 - 0,04} = 105.219$$

Os cálculos são idênticos a aplicação da fórmula

$$E_1 = \frac{97.000}{(1 - 0,03)(1 - 0,01)(1 - 0,004)} = 105.219$$

A quantidade de matéria-prima e processamento na operação 1 não deve se basear na estimativa de mercado de 97.000 componentes, mas em 105.219 componentes. Tabela 2.5.

Tabela 2.5 *Resumo das Necessidades de Produção do Exemplo 2.1*

| Operação | Quantidade Programada de Produção (unidades) | Número Esperado de Unidades Produzidas |
|-------------|---|---|
| Torneamento | 105.219 | 101.010 |
| Fresamento | 101.010 | 100.000 |
| Furação | 100.000 | 97.000 |

Cálculo com retrabalho

Permitir o retrabalho envolve uma modificação do procedimento para as operações sequenciais. Vejamos na figura 2.16 (100% de inspeção).

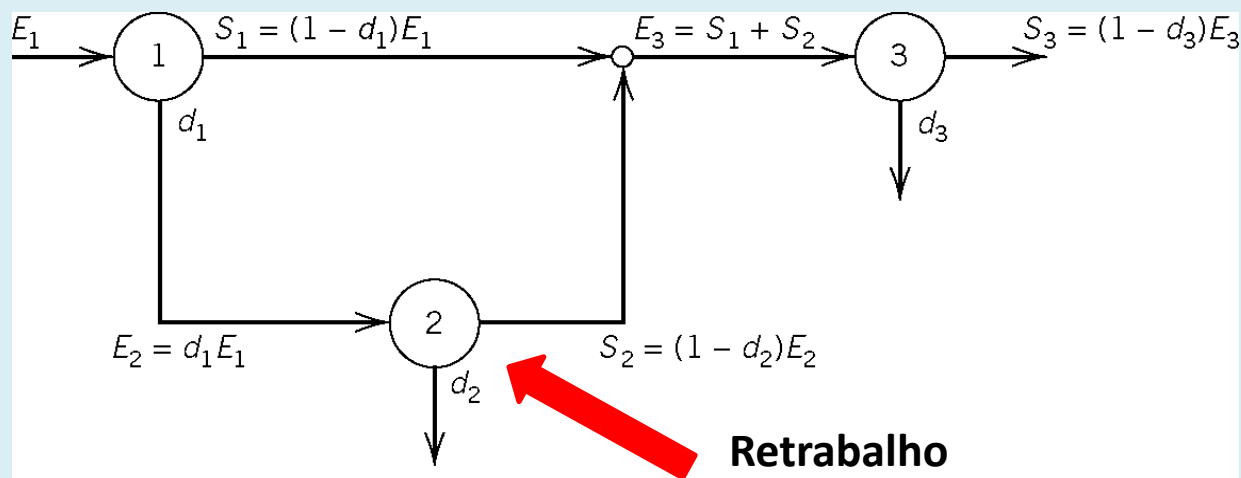


Figura 2.16 Diagrama de processos para as operações com retrabalho.

$$S_1 = (1 - d_1)E_1 \Rightarrow E_2 = d_1E_1$$

em que E_2 é o número de itens defeituosos da primeira operação

$$S_2 = (1 - d_2)E_2$$

$$E_3 = S_1 + S_2 = (1 - d_1)E_1 + (1 - d_2)E_2$$

$$= (1 - d_1)E_1 + (1 - d_2)d_1E_1$$

$$= E_1 \left[(1 - d_1)E_1 + d_1(1 - d_2) \right]$$


As peças que conseguiu recuperar


Portanto

$$E_1 = \frac{E_3}{\left[(1 - d_1) E_1 + d_1 (1 - d_2) \right]}$$

Já que $E_3 = \frac{S_3}{(1 - d_3)}$, então temos:

$$E_1 = \frac{S_3}{(1 - d_3) \left[(1 - d_1) E_1 + d_1 (1 - d_2) \right]}$$


Defeitos
em 3


Defeitos
em 1


Defeitos
em 2
(retrabalho)

Retrabalho pode
ser considerado
como um processo

Exemplo 2

A necessidade de produto final é de 100.000 peças. Dado que o retrabalho é realizado com base na suposição anterior (Fig 2.16), calcule o número de unidades necessárias para o processamento da primeira operação. Supondo que as taxas de defeitos (decimais) sejam $d_1 = 0,03$, $d_2 = 0,40$ e $d_3 = 0,02$.

Resposta: aplicar a fórmula.

$$E_1 = \frac{100.000}{(0,98[0,97 + 0,03(0,60)])} = 103.280$$

Exemplo 3

Calcule as necessidades dos componentes para os produtos montados. Assumindo que os componentes são terceirizados e que a montagem final é realizada localmente. Os produtos finais são duas montagens que exigem três componentes. A montagem 1 requer quatro unidades do componente 1 e três do componente 2. A montagem 2 requer duas unidades do componente 2 e uma unidade do componente 3 (Ver fig 2.17). As frações de defeitos são: $d_1 = 0,06$, $d_2 = 0,05$ e $d_3 = 0,04$, $d_4 = 0,03$, $d_5 = 0,02$.

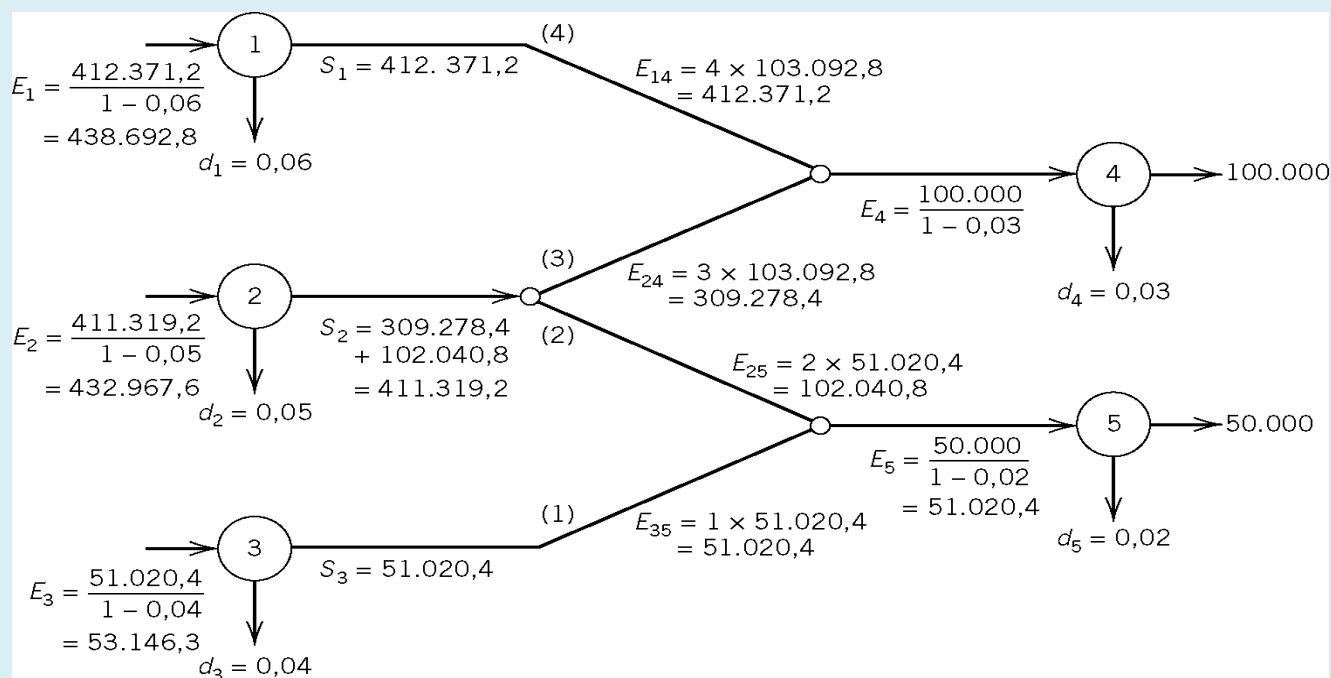
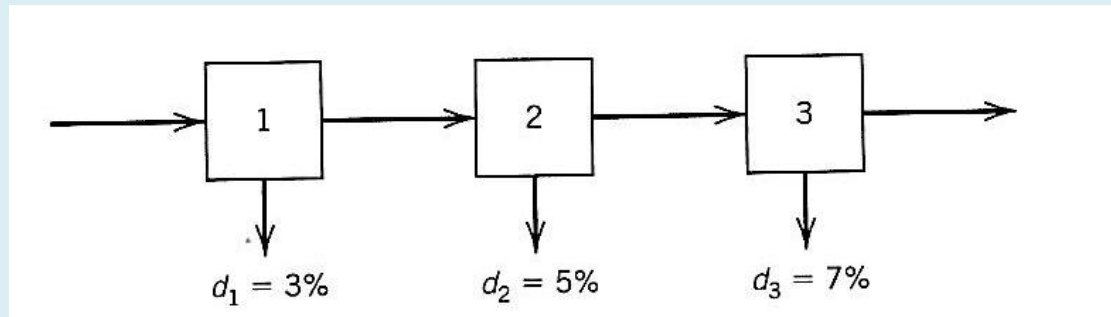


Figura 2.17 Necessidades de componentes para as montagens e submontagens do Exemplo 2.3.

Exercícios

- 2.12 Um reciclador de computadores vende gabinetes de computador para um remanufaturador de computadores. Para atender a demanda mensal prevista, o remanufaturador precisa de 2.000 gabinetes. O reciclador utiliza um processo de desmontagem em quatro etapas com taxas de refugo de: $r_1 = 0,08$, $r_2 = 0,05$, $r_3 = 0,05$ e $r_4 = 0,03$. Quantos computadores o reciclador deve receber a cada mês a fim de atender a demanda do remanufaturador?
- 2.13 Considere um processo de fabricação simples de três etapas, conforme ilustrado na figura dada. Supondo que a demanda seja de 1.000 unidades, qual é a entrada necessária para atender a demanda? Você irá observar que a entrada necessária é a mesma se as taxas de perda forem invertidas nos processos 1 e 3. Suponha que o custo da perda seja de US\$ 5 no processo 1, US\$ 10 no processo 2 e US\$ 15 no processo 3. As taxas de defeitos são 3%, 5% e 7%, respectivamente. Calcule o custo total da perda no sistema fornecido e no sistema onde as taxas de refugo são invertidas. Qual sistema seria preferível?

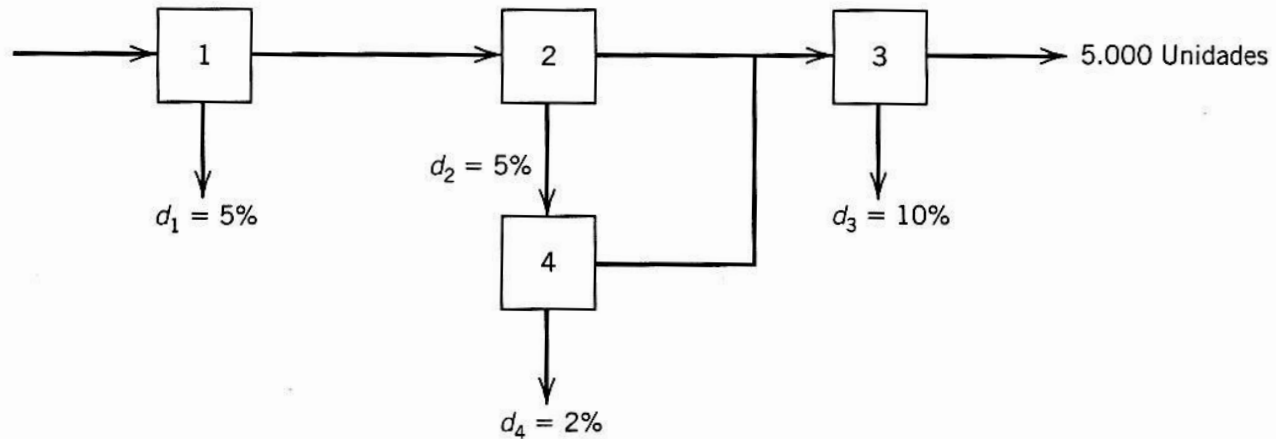


2.14 Considere o Problema 2.13 onde, nesse caso, cada processo tem possibilidade de retrabalho. Dadas as informações na tabela seguinte, qual é a entrada necessária para atender uma demanda de 1.000 unidades?

| Processo | Taxa de Defeitos | Taxa de Retrabalho |
|----------|------------------|--------------------|
| 1 | 3% | 60% |
| 2 | 5% | 75% |
| 3 | 7% | 80% |

Suponha que os custos dos refugos sejam desprezíveis e que os custos de retrabalho sejam de US\$ 2, US\$ 3 e US\$ 4, respectivamente. Calcule o custo de retrabalho para produzir as 1.000 unidades. O que acontece com o custo de retrabalho se as taxas de refugo nos processos 1 e 3 forem invertidas? Esse resultado está de acordo com o do Problema 2.13?

- 2.16 Dada a figura a seguir, a operação 4 representa uma operação de retrabalho nas peças que não passaram na inspeção após o término da operação 2.



Quantas unidades são necessárias para o início do processo de maneira a cumprir o resultado esperado de 5.000 unidades?

Problemas da permissão de refugos

- Como maximizar o lucro esperado permitindo a geração de refugos?

Equações

x = o número de unidades boas produzidas

$p(x)$ = probabilidade de produzir x unidades boas

Q = quantidade de unidade a produzir

$C(Q, x)$ = custo de produzir Q unidades, das quais x são unidades boas

$R(Q, x)$ = receita da produção de Q unidades, das quais x são unidades boas

$L(Q, x)$ = lucro da produção de Q unidades, das quais x são unidades boas
 $= R(Q, x) - C(Q, x)$

$E[L(Q)]$ = lucro esperado da produção de Q unidades

$$= \sum_{x=0}^Q L(Q, x) p(x)$$

O lucro esperado da produção de Q unidades pode ser determinado como se segue:

$$E[L(Q)] = \sum_{x=0}^Q \{R(Q, x) - C(Q, x)\} p(x)$$

Portanto, o lucro previsto pode ser dado como:

$$\begin{aligned}
 E[L(Q)] &= -\sum_{x=0}^{19} 900Qp(x) + \sum_{x=20}^Q (46.000 - 900Q)p(x) \\
 &= -900Q + 46.000 \sum_{x=20}^Q p(x)
 \end{aligned}$$

Tabela 2.8 *Lucro Previsto da Produção de Q Moldes*

| Número de Moldes Produzidos (Q) | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| -6.500 | 1.800 | 7.800 | 11.500 | 15.200 | 16.600 | 18.000 | 19.400 | 20.800 | 19.900 | 19.000 |
| MÁXIMO | | | | | | | | | | |

Estimação do número de máquinas necessárias

- Quantas máquinas são necessárias para produzir em uma determinada operação?
- **Frações de máquinas de uma operação.** É determinada dividindo-se o tempo total necessário para realizar a operação pelo tempo disponível para completar a operação.
- O tempo total necessário para realizar uma operação é o produto do tempo padrão para a operação e do número de vezes que a operação é realizada.
- Sabemos que a disponibilidade das máquinas e a confiabilidade de produção podem variar ao longo do tempo. Mas é possível utilizar um modelo determinístico.

A fração de máquina M pode ser determinada pelo:

$$M = \frac{T_p \times Q}{D \times T_D \times K}$$

Em que

M = número de máquinas necessárias por turno

T_p = tempo padrão por unidade produzida (minutos)

Q = número de unidades a ser produzida por turno

D = desempenho real, expresso como porcentagem do tempo padrão

T_D = quantidade de tempo disponível por máquina (minutos)

K = confiabilidade da máquina, expressa como tempo de atividade porcentual

Na equação acima, o numerador é o tempo total necessário por turno e o denominador indica o tempo total em que uma máquina está disponível por turno.

Exemplo 5

Uma peça usinada tem um tempo de usinagem padrão de 2,9 min por peça em uma fresadora. Durante um turno de oito horas, devem ser produzidas 200 unidades. Dos 480 minutos disponíveis para a produção, a fresadora estará operacional 80% do tempo. Durante o tempo em que a máquina está operacional, são produzidas peças a uma taxa igual a 95% da taxa padrão. Quantas fresadoras são necessárias?