

ESCOLA POLITÉCNICA DA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Projeto de Sistema para a Automatização  
Programada do Engarrafamento de Líquidos

Adriano Harary

1989

**"Projeto de Sistema para a Automatização Programada do  
Engarrafamento de Líquidos"**

### APRESENTAÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de apresentar uma proposta para um sistema flexível de envasamento de líquidos.

Este sistema fará parte de um projeto mais amplo, denominado CIS POLI/AC, uma fábrica-piloto de detergentes e amaciantes cuja descrição é incluída no início do Estudo de Viabilidade.

O resultado foi um projeto básico que pretendeu atender a necessidades específicas e não tradicionais para um sistema deste tipo.

Desejamos ainda incluir aqui agradecimentos à Andersen Consulting por possibilitar a realização deste trabalho, e ao professor Omar Moore de Madureira do Departamento de Engenharia Mecânica da EPUSP pela orientação para que o projeto fosse concluído com êxito.

Adriano Harari  
1989

## CONTEÚDO

PARTE I - ESTUDO DE VIABILIDADE.....	05
1.1. ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE.....	06
1.1.1. O CIS POLI/AC.....	06
1.1.2. DIRETRIZES BÁSICAS.....	08
1.1.3. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	09
1.1.4. CONCEPÇÃO GERAL DO SISTEMA.....	10
1.1.4.1. Frascos Pré-Embalados.....	10
1.1.4.2. Estações de Trabalho.....	11
1.1.4.3. Sistema AS/RS.....	14
1.1.4.4. Códigos de Barras.....	15
1.1.4.5. Arranjo Físico.....	16
1.2. FORMULAÇÃO DO PROJETO.....	17
1.2.1. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO SISTEMA.....	17
1.2.1.1. Funcionais.....	17
1.2.1.2. Operacionais.....	17
1.2.1.3. Construtivas.....	18
1.2.2. DIVISÃO FUNCIONAL - SUBSISTEMAS.....	19
1.2.3. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS SUBSISTEMAS...	20
1.3. SÍNTESE DE SOLUÇÕES.....	22
1.4. EXEQUIBILIDADE FÍSICA.....	31
1.5. VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA.....	32
1.6. CONCLUSÃO.....	33

PARTE II - PROJETO BÁSICO.....	34
II. 1. ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO.....	35
II.1.1. PARÂMETROS DE ANÁLISE.....	35
II.1.2. TABELAS COMPARATIVAS.....	38
II.1.3. SÍNTESE DAS SOLUÇÕES ESCOLHIDAS.....	41
II.1.4. POTENCIAL DO SISTEMA.....	42
II. 2. MODELAGEM DO DESEMPENHO.....	44
II.2.1. ESTIMATIVA DE TEMPOS.....	45
II.2.2. PRODUTIVIDADE DO SISTEMA.....	47
II. 3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	49
II. 4. ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE.....	50
II. 5. ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	51
II. 6. OTIMIZAÇÃO FORMAL.....	52
II. 7. PREVISÕES PARA O FUTURO.....	53
II. 8. PREVISÃO DO TEMPO DE FUNCIONAMENTO.....	54
II. 9. ENSAIOS E TESTES.....	55
II.10. CONCLUSÃO.....	56
BIBLIOGRAFIA.....	57

**PARTE I**

**ESTUDO DE VIABILIDADE**

## I.i. ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE

### I.1.1. O CIS POLI/AC

O Centro de Integração de Sistemas CIS POLI/AC é resultado de um projeto conjunto entre a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e a Andersen Consulting.

Este centro representará uma fábrica-piloto de detergentes e amaciadores de roupas, que utilizará os mais modernos recursos de automação e integração de sistemas disponíveis no mercado interno.

Nesta fábrica estarão expostos produtos e tecnologias de diversos fabricantes, em todos os níveis da automação.

Dessa forma, além de apresentar ao mercado nacional opções reais nesse campo, o centro permitirá o treinamento de pessoal para atuação na área de automação.

A seguir é feita uma breve descrição da fábrica.

### - A Fábrica

O processo industrial de produção de detergentes e amaciadores de roupas que será implantado no CIS POLI/AC pode ser simplificadamente dividido em três etapas principais:

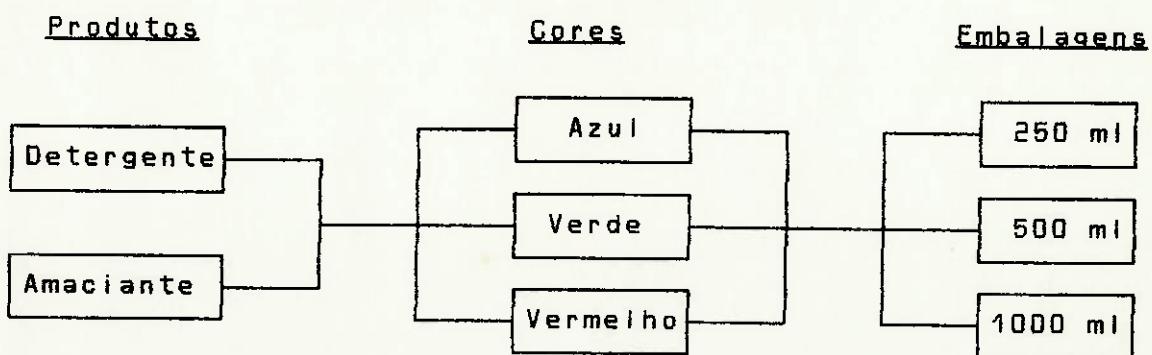
- . Reação: onde são obtidas as matérias-primas para produção de detergentes ou amaciadores.
- . Mistura: onde são misturadas as matérias-primas, dando origem aos diversos produtos finais.
- . Envasamento: onde são convenientemente embalados, empacotados e armazenados os produtos finais para uma posterior etapa de distribuição.

Em sua concepção final, a fábrica-piloto do CIS-POLI/AC apresentará essas três etapas totalmente integradas, representando uma planta completa para produção de detergentes e amaciadores.

Na etapa de Mistura estarão disponíveis três corantes que poderão ser adicionados às demais matérias-primas, parte delas obtidas num reator na etapa anterior.

Essa fábrica pretende ainda apresentar os seus produtos finais em três possíveis formatos, quanto a embalagem: frascos de 250, 500 e 1000 ml, convenientemente empacotados.

O esquema abaixo mostra que as possíveis combinações de produtos (2), cores (3) e embalagens (3) perfazem assim um total de 18 produtos finais.



### 1.1.2. DIRETRIZES BÁSICAS

Antes de prosseguir-se com o estudo de viabilidade da Etapa de Envasamento, devem ser salientados dois aspectos que de maneira geral influenciarão o desenho do sistema. Incorporam-se, portanto, às necessidades do sistema.

- a) O objetivo final dessa fábrica-piloto não é a produção de detergentes ou amaciadores, mas a representação em escala reduzida de um processo industrial onde possam ser aplicados e demonstrados conceitos e tecnologias de automação em vários níveis.
- b) É de interesse a utilização de sistemas robotizados desempenhando tarefas variadas no processo, dessa forma agregando um valor didático à Etapa quanto as possibilidades de uso de tais equipamentos nos processos modernos de manufatura.

### I.1.3. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em uma linha tradicional de envasamento, os frascos são conduzidos de forma enfileirada ao longo de uma esteira transportadora, passando por locais onde são enchidos e tampados.

A mesma linha em geral admite que diferentes produtos com embalagens distintas sejam envasados, mas operações manuais de ajustes são requeridas quando da troca de produto e embalagem.

Nessa fábrica, porém, deseja-se uma linha flexível, onde diferentes produtos possam ser envasados até mesmo simultaneamente, sem necessidade de ajustes manuais.

A seguir será apresentada uma concepção geral para o sistema, distinta dos sistemas usuais, mas que atende à necessidade maior de flexibilidade, bem como às diretrizes básicas anteriormente citadas.

#### 1.1.4. CONCEPÇÃO GERAL DO SISTEMA

##### 1.1.4.1. Frascos Pré-Embalados

A idéia básica consiste em que os frascos vazios entrem na linha de envasamento já parcialmente embalados em caixas abertas.

Poderia ser utilizado apenas um modelo de caixa onde seriam acondicionadas diferentes quantidades ou mesmo tipos de frascos (dependendo do projeto da caixa). No interior das caixas seria garantido o posicionamento preciso dos frascos (essa precisão é necessária conforme será visto mais adiante).

Com essa solução o produto a ser transportado (caixa) passa a ser único quanto as suas dimensões externas, simplificando consideravelmente a operação.

#### 1.1.4.2. Estações de Trabalho

Uma vez que as caixas contendo frascos vazios estejam colocadas na esteira, devem ser efetuadas as operações de enchimento e fechamento. Aqui será introduzido o conceito do que se chamará de Estação de Trabalho.

Basicamente as Estações de Trabalho serão os pontos onde ocorrerá parada e manipulação das caixas ou frascos.

Existiriam no processo três Estações:

ET1: enchimento dos frascos.

ET2: fechamento dos frascos.

ETO: gerenciamento de estoques de matérias-primas e produtos acabados.

Deve-se salientar que poderão existir simultaneamente na linha diferentes configurações de caixas quanto ao tipo, número e posicionamento dos frascos na caixa. Portanto, as Estações ET1 e ET2 deverão estar preparadas para efetuar diferentes programas de posicionamento para o cumprimento de suas tarefas, no instante em que forem requeridas.

Aqui surge uma aplicação interessante e eficiente para sistemas robotizados. Atuando, por exemplo, com três eixos ortogonais, o sistema se posicionaria rapidamente próximo a cada frasco de uma caixa parada na Estação para cumprir a tarefa que lhe corresponda. Os movimentos seriam obtidos através de posicionadores lineares acionados por servomotores, um para cada eixo (Figura 1).

Na Estação de enchimento (ET1) a função seria apenas de posicionamento, uma vez que o sistema estaria levando a extremidade de uma ou mais mangueiras provenientes do sistema de dosagem, que por sua vez estaria enviando a quantidade correta de líquido de um tanque selecionado aos frascos.

Já na Estação de fechamento (ET2) seriam eventualmente incluídos mecanismos acoplados ao sistema de posicionamento para que fossem providas e corretamente colocadas as tampas nos frascos. A necessidade de tais mecanismos, bem como suas características dependerão dos tipos de frascos e tampas adotados.

As Estações seriam sincronizadas para que as tarefas fossem simultaneamente cumpridas durante os tempos de paradas da esteira.

Alguns dispositivos adicionais garantiriam o posicionamento

preciso das caixas nas Estações, necessário uma vez que o robô estaria cumprindo um programa pré-estabelecido de posicionamento. Pela mesma razão foi salientada anteriormente a importância de assegurar-se o posicionamento preciso dos frascos no interior das caixas.

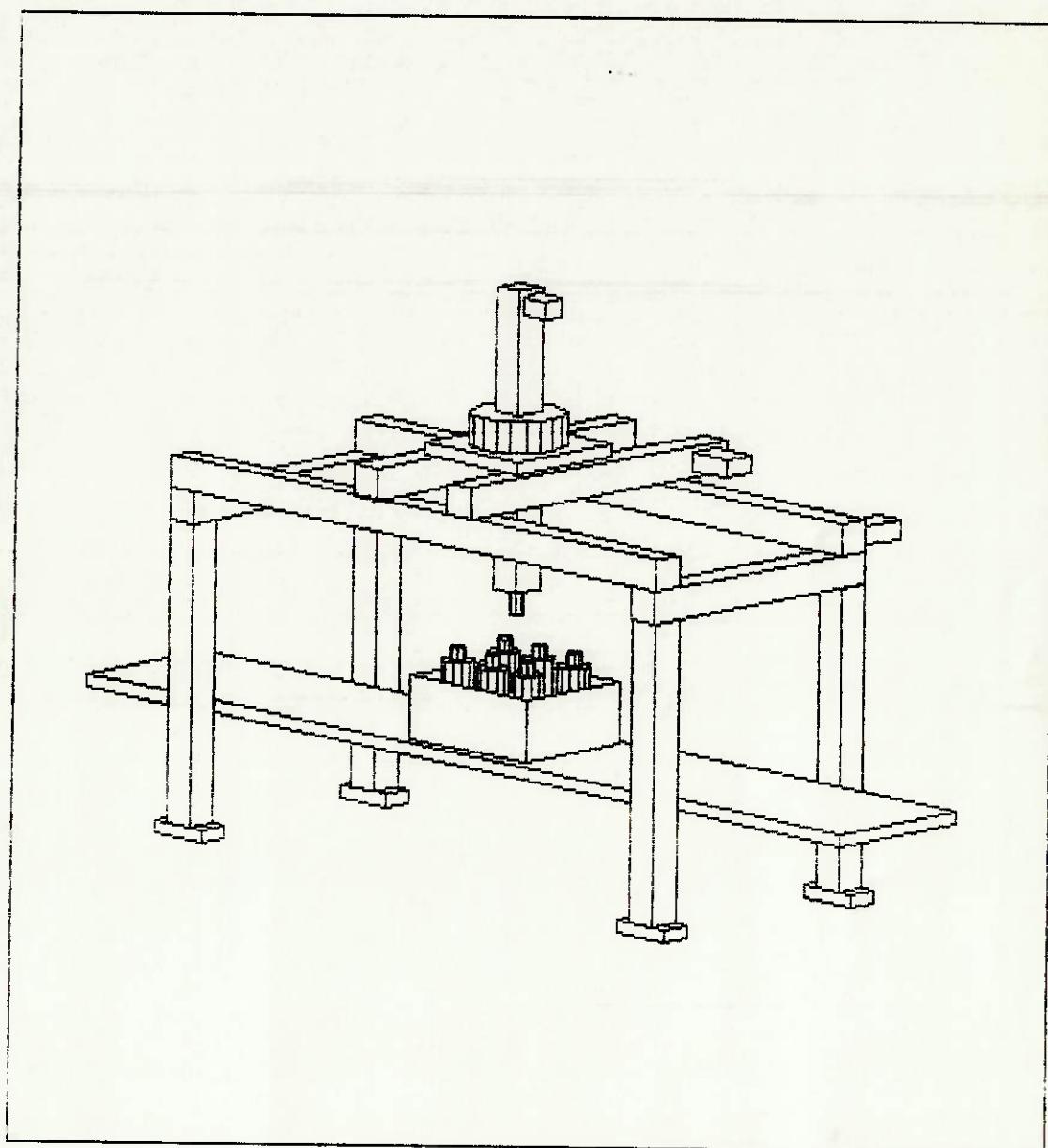


Figura 1: Estação de Trabalho.

Configuração básica composta por três posicionadores lineares acionados por servo-motores, permitindo movimentação do sistema acima dos frascos contidos em uma caixa.

#### 1.1.4.3. Sistema AS/RS

Para completar a concepção básica do sistema, resta analisar a forma pela qual seriam desempenhadas as tarefas de gerenciamento de estoques de matérias-primas e produtos acabados.

Observando a solução adotada até este ponto - frascos em caixas percorrendo Estações de Trabalho - nota-se que este processo presta-se especialmente a implantação de um sistema denominado AS/RS (Automatic Storage/Retrieval System) para manipulação automática de estoques.

No caso específico dessa fábrica-piloto, pode-se imaginar um AS/RS segundo a mesma configuração básica de eixos dos posicionadores que atuarão nas Estações de Trabalho ET1 e ET2, porém em escala maior.

Uma garra seria acoplada ao sistema para manipulação das caixas, que seriam mantidas em estoque num conjunto de prateleiras colocadas ao alcance do AS/RS.

O mesmo robô seria responsável pelo gerenciamento de ambos os estoques de matérias-primas e produtos acabados, carregando e descarregando a linha de envasamento alternadamente.

As tarefas do AS/RS nessa fábrica podem ser assim resumidas:

- . recebimento e armazenagem de matérias-primas (caixas e frascos vazios).
- . alimentação da linha com matérias-primas (caixas contendo frascos vazios).
- . descarga e armazenagem de produtos acabados (caixas contendo frascos cheios e tampados).
- . expedição de produtos acabados.
- . preparação de caixas com frascos vazios (opcional).

Esse sistema será também definido como uma Estação de Trabalho, denominada ET0, na qual inicia-se e conclui-se a linha de envasamento.

Obs.: A última tarefa, indicada como opcional, depende de dispositivos adicionais agregados ao AS/RS. Um sistema de menor complexidade poderia prever a preparação manual de caixas com frascos vazios, que seriam posteriormente enviadas ao AS/RS.

#### 1.1.4.4. Códigos de Barras

Destaca-se a possibilidade de implantação de um sistema de identificação das caixas, durante a movimentação das mesmas na linha de envasamento.

Uma forma de codificação seria através de códigos de barras em etiquetas coladas nas caixas e leitoras distribuídas convenientemente ao longo da linha.

Nesse caso, as caixas com frascos vazios trariam o código das operações de envasamento que devam ser nelas efetuadas, além de outras informações pertinentes (cliente, no. de pedido, etc), tornando "autônomas" as Estações de Trabalho, que procederiam de acordo com a leitura do código feita imediatamente antes que as caixas as atinjam.

Como ítem adicional, verifica-se a possibilidade de adaptação de uma leitora de códigos de barras junto a garra do AS/RS, permitindo a verificação instantânea do conteúdo de qualquer caixa em estoque.

Esse recurso permitiria, por exemplo, que se efetuasse um inventário automático para reconstrução de um banco de dados de estoque eventualmente perdido. Nesse caso, o AS/RS percorreria todas as prateleiras (ou parte especificada) verificando o conteúdo das caixas e enviando os dados das leituras ao sistema de controle.

#### 1.1.4.5. Arranjo Físico

A seguir observa-se uma proposta básica de disposição do sistema composto pelas três etapas principais de produção, abrangendo uma área total de aproximadamente 54 m<sup>2</sup>.

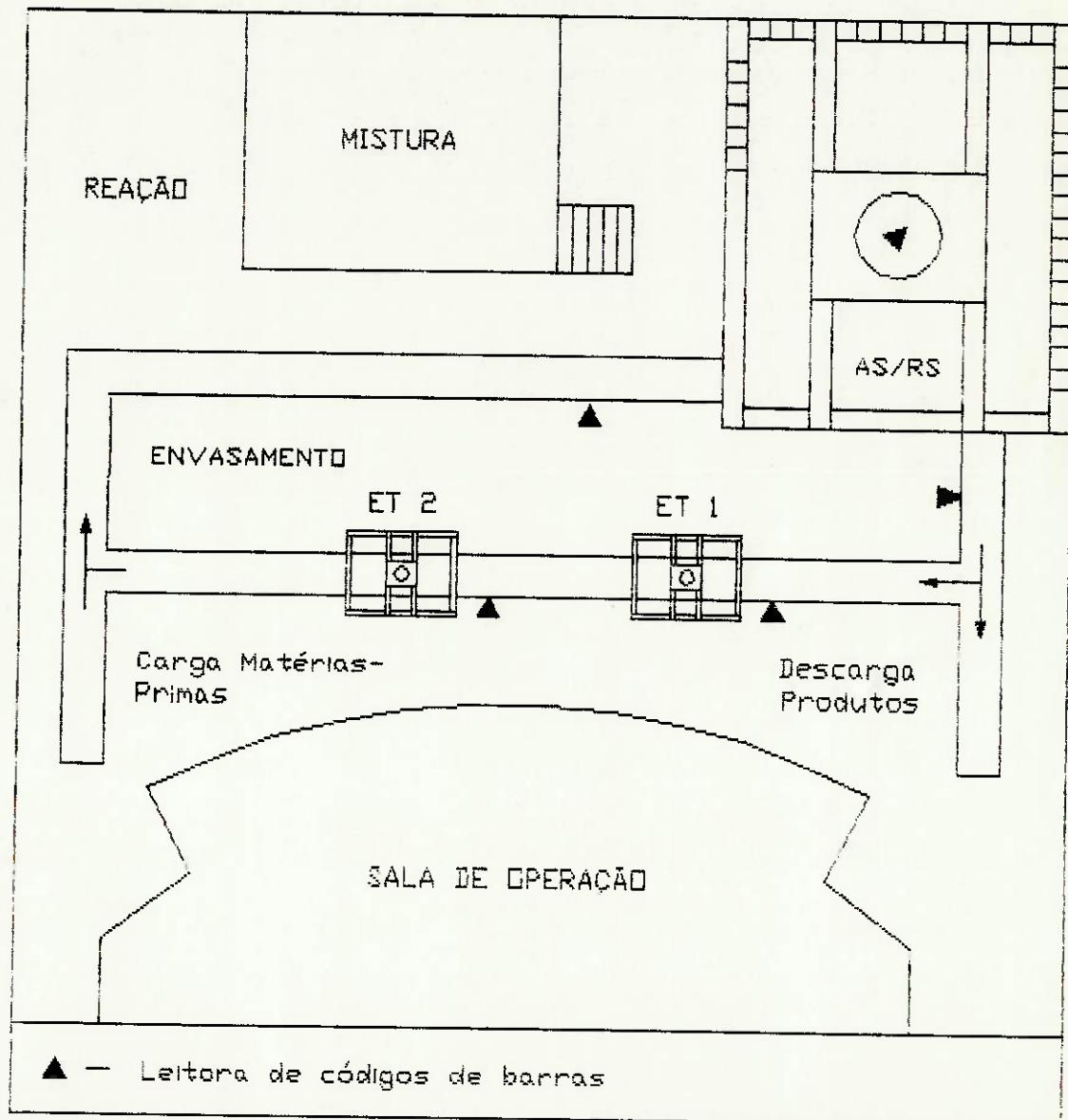


Figura 2: Proposta de Arranjo Físico.

## I.2. FORMULAÇÃO DO PROJETO

### I.2.1. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO SISTEMA

#### I.2.1.1. Funcionais

Como inicialmente visto, a etapa de Envasamento, enfoque deste estudo, tem início ao término da etapa de Mistura, isto é, quando um lote qualquer de detergente ou amaciante foi produzido e encontra-se temporariamente armazenado.

Para armazenamento encontram-se disponíveis nessa fábrica-piloto três tanques de capacidades distintas (400 l, 600 l e 800 l). A utilização desses tanques dependerá de critérios de otimização na alocação de recursos, objeto de demonstração nessa fábrica.

Nota-se assim que o sistema de envasamento adotado deverá ser capaz de a qualquer instante coletar o conteúdo armazenado em qualquer um dos três tanques mencionados, para uma operação de envasamento de lote.

Em resumo, caberá a etapa de Envasamento atender a ordens variadas e sucessivas de produção, sem qualquer operação manual de "set-up", enchendo, tampando e empacotando frascos nos três volumes mencionados, com líquido proveniente de qualquer um dos três tanques de armazenamento da etapa de Mistura.

Caberá ainda a essa nova Etapa a tarefa de gerenciamento automático de ambos os estoques de matérias-primas e produtos acabados, provendo matérias-primas ao sistema de envasamento, armazenando adequadamente os produtos finais já embalados e colocando-os à disposição numa etapa simulada de distribuição.

#### I.2.1.2. Operacionais

##### - Controle

O sistema deverá ser totalmente automático quanto ao desempenho das funções já especificadas, permitindo o seu controle integral sem intervenção humana quando em funcionamento normal.

##### - Confiabilidade

O elemento humano atuará apenas no comando e supervisão de alto nível e na manutenção dos equipamentos, tornando-se fundamental o fator confiabilidade no chão de fábrica. Isto

significa que possíveis falhas deverão ser previstas e tratadas quando da sua ocorrência, de forma a não comprometer a segurança do sistema como um todo e dos indivíduos próximos.

#### - Durabilidade/Mantenebilidade

Considerando que a fábrica será utilizada em constantes demonstrações, não havendo equipes disponíveis em tempo integral para manutenção de equipamentos, torna-se desejável o projeto de um sistema de grande durabilidade, e no qual tais operações sejam restrinvidas ao estritamente necessário.

#### 1.2.1.3. Construtivas

A área disponível para a etapa de Envasamento, aproximadamente 35 m<sup>2</sup> (incluindo o sistema AS/RS), é mostrada na Figura 2 ("Proposta de Arranjo Físico").

No aproveitamento desse espaço deverão ser previstas áreas de circulação e acessos para manutenção de quaisquer equipamentos da fábrica.

### 1.2.2. DIVISÃO FUNCIONAL - SUBSISTEMAS

O sistema proposto, em sua concepção básica, atende plenamente a todas as necessidades anteriormente apresentadas. Dessa forma, partindo desse modelo será feita uma análise mais detalhada do sistema e das possíveis soluções associadas.

Inicialmente, o sistema será convenientemente dividido em grupos funcionais.

<u>Funções</u>	<u>Grupos</u>
- Recebimento e Armazenagem de Matérias-Primas	ETO
- Transporte e Posicionamento de Caixas	T/P
- Seleção de Tanque, Dosagem e Enchimento de Frascos	ET1
- Fechamento de Frascos	ET2
- Empacotamento de Frascos	ETO
- Armazenagem de Produto Acabado	ETO
- Expedição de Produto Acabado	ETO

Em seguida serão analisadas possíveis soluções quanto às características específicas necessárias a cada grupo funcional.

### 1.2.3. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS SUBSISTEMAS

#### - Grupo ET1

Ao grupo ET1 estão associados os dispositivos que deverão garantir que cada frasco contido em uma caixa receba a dosagem correta de líquido proveniente de um tanque de armazenamento selecionado instantaneamente.

Convém lembrar que em uma mesma caixa poderão estar acondicionados frascos de diferentes volumes, que poderão ainda receber produtos distintos durante um período único de parada da caixa na Estação de Trabalho ET1.

#### Especificações:

- Número de tanques de armazenamento: 03.
- Volumes a serem dosados: 250, 500 e 1000 ml.
- Erro máximo admissível no volume dosado: 0,5 % .
- Tempo máximo de permanência de uma caixa na Estação (caixa com 6 x 500 ml): 30 s.

#### - Grupo ET2

O grupo ET2 é responsável pelo fechamento dos frascos com tampas, uma vez enchidos na Estação de Trabalho ET1.

As possíveis soluções analisadas nesse grupo referem-se ao tipo de tampa que poderá ser adotada para fechamento dos frascos na Estação de Trabalho ET2. Essa decisão terá implicações diretas na escolha dos demais componentes do grupo ET2.

#### Especificações:

- Vedação requerida: baixa.
- Tipo de tampa: deve ser removível (completa ou parcialmente) para reaproveitamento de matérias-primas (frascos e tampas).
- Tempo máximo de permanência de uma caixa na Estação (caixa com 6 x 500 ml): 30 s.

#### - Grupo ETQ

Nesse grupo estão relacionadas tarefas de manipulação de matérias-primas e produtos acabados.

Serão aqui estudadas possíveis soluções relativas às embalagens (caixas e frascos).

**Especificações:**

- Materiais para embalagens: frascos plásticos, caixas e frascos reutilizáveis e duráveis.
- Posicionamento dos frascos nas caixas: preciso.
- Grupo T/P

O grupo T/P reúne os mecanismos de transporte e posicionamento de matérias-primas e produtos acabados ao longo do sistema de envasamento.

**Especificações:**

- Velocidade mínima de transporte das caixas: 1 m/s (aproximadamente).

### I.3. SÍNTESSE DE SOLUÇÕES

#### - Grupo ET1 (Enchimento)

##### a) Seleção do tanque-fonte.

As Figuras 3 e 4 apresentam duas opções para seleção instantânea do tanque-fonte.

##### Solução S1: Via Única (Figura 3).

A via de acesso do tanque-fonte ao dispositivo de dosagem seria selecionada pelo acionamento de uma válvula solenóide correspondente.

Apenas uma via seria utilizada para a condução do líquido a partir da saída do dispositivo de dosagem até o frasco, qualquer que fosse o tanque-fonte. Isso implica, naturalmente, na lavagem dessa via e do dispositivo quando de uma troca de tanque na qual esteja associada uma troca de produto.

##### Solução S2: Vias Distintas (Figura 4).

Três vias independentes chegariam ao posicionador, provenientes de três dispositivos de dosagem idênticos, um para cada tanque.

A seleção das vias de acesso seria através do acionamento do dispositivo de dosagem correspondente.

Esse sistema possibilita assim, que até três produtos distintos sejam manipulados durante um período único de parada das caixas na Estação de Trabalho ET1, sem interrupções para lavagens dos dispositivos e das vias.

A operação de lavagem ocorreria apenas quando da troca de produto em um mesmo tanque, podendo ser utilizada a mesma água de lavagem do tanque.

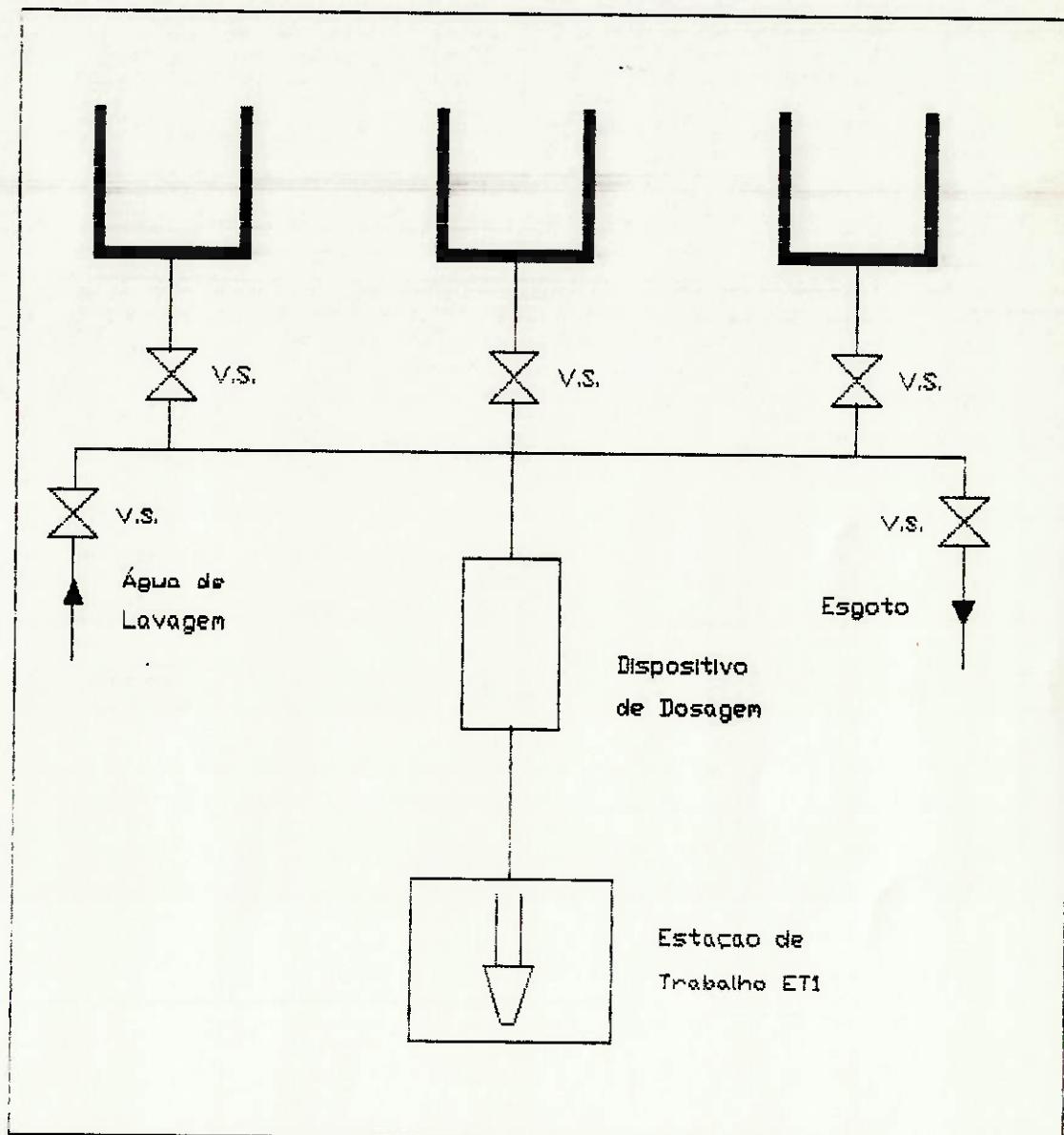


Figura 3: Solução S1 (Via Única).

Apenas uma via é utilizada para condução do líquido da saída do dispositivo de dosagem até o frasco, qualquer que seja o tanque-fonte. A seleção do tanque-fonte é feita através do acionamento da válvula solenóide (V.S.) correspondente.

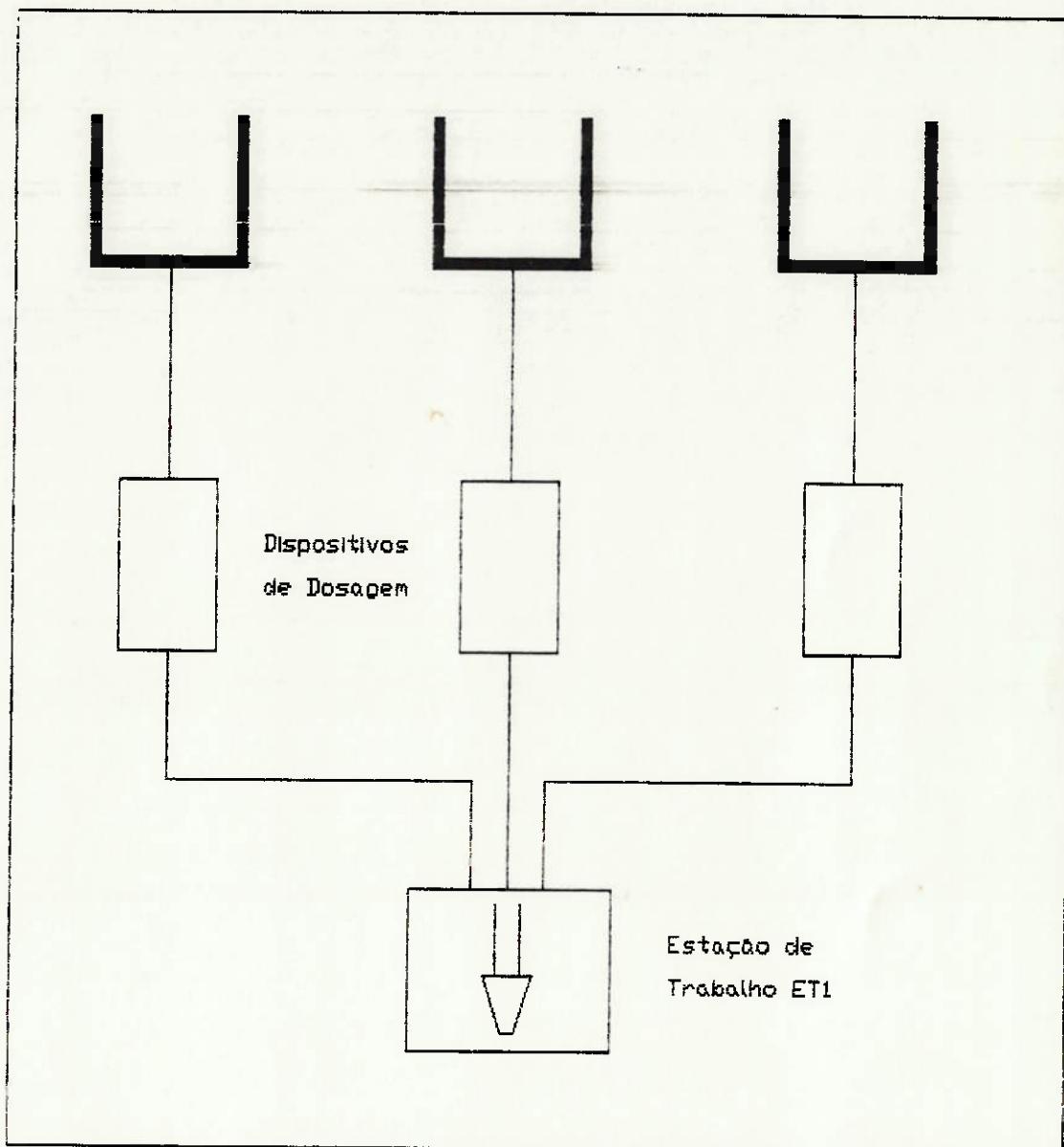


Figura 4: Solução S2 (Vias Distintas).

Três vias distintas chegam ao posicionador da Estação de Trabalho ET1, provenientes de três dispositivos de dosagem, um para cada tanque. A seleção do tanque-fonte é feita através do acionamento do dispositivo de dosagem correspondente.

b) Dosagem.

Duas soluções foram consideradas para o dispositivo de dosagem, cuja função é medir e enviar o produto proveniente do tanque-fonte ao posicionador da Estação de Trabalho ET1, para enchimento dos frascos.

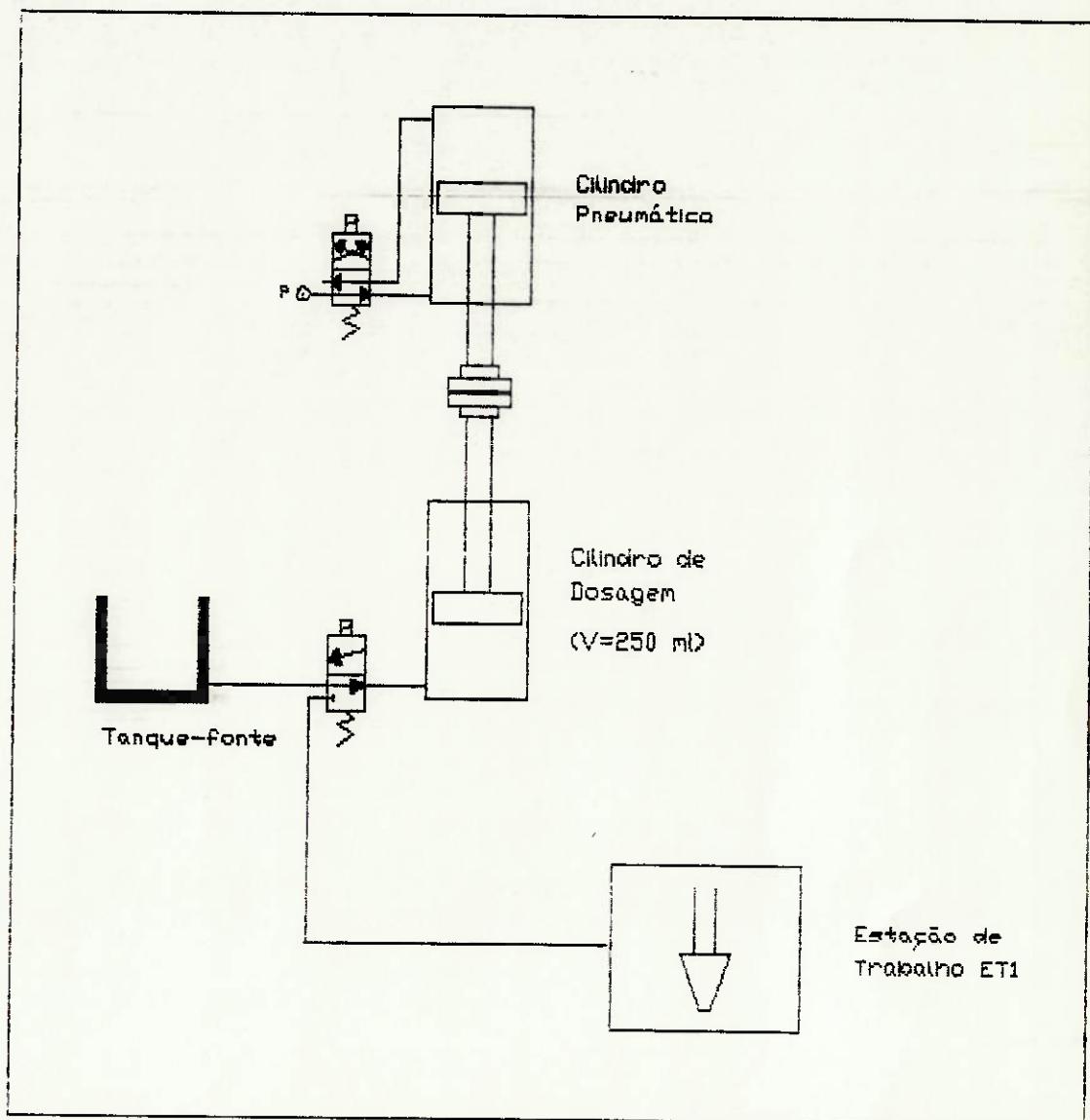
O dispositivo de dosagem deverá estar capacitado a efetuar três possíveis dosagens (250, 500 e 1000 ml) no tempo requerido.

Solução D1: Um Cilindro de Dosagem (Figura 5).

Um cilindro é utilizado para dosar um volume fixo de 250 ml, acionado por outro cilindro pneumático. Seriam efetuados 1, 2 ou 4 ciclos de dosagem de acordo com o volume do frasco a ser enchido a cada instante.

Solução D2: Três Cilindros de Dosagem (Figura 6).

O princípio é semelhante ao da solução D2, porém haveria um par de cilindros (acionador e dosador) independentes para cada volume a ser dosado. A seleção do par de cilindros seria feita instantaneamente, através do acionamento de válvulas solenóides correspondentes.



*Figura 5: Solução D1 (Um Cilindro de Dosagem).*

Um cilindro de dosagem com volume de 250 ml é acionado por outro cilindro pneumático. São efetuados 1, 2 ou 4 ciclos de dosagem de acordo com o frasco a ser enchido a cada instante.

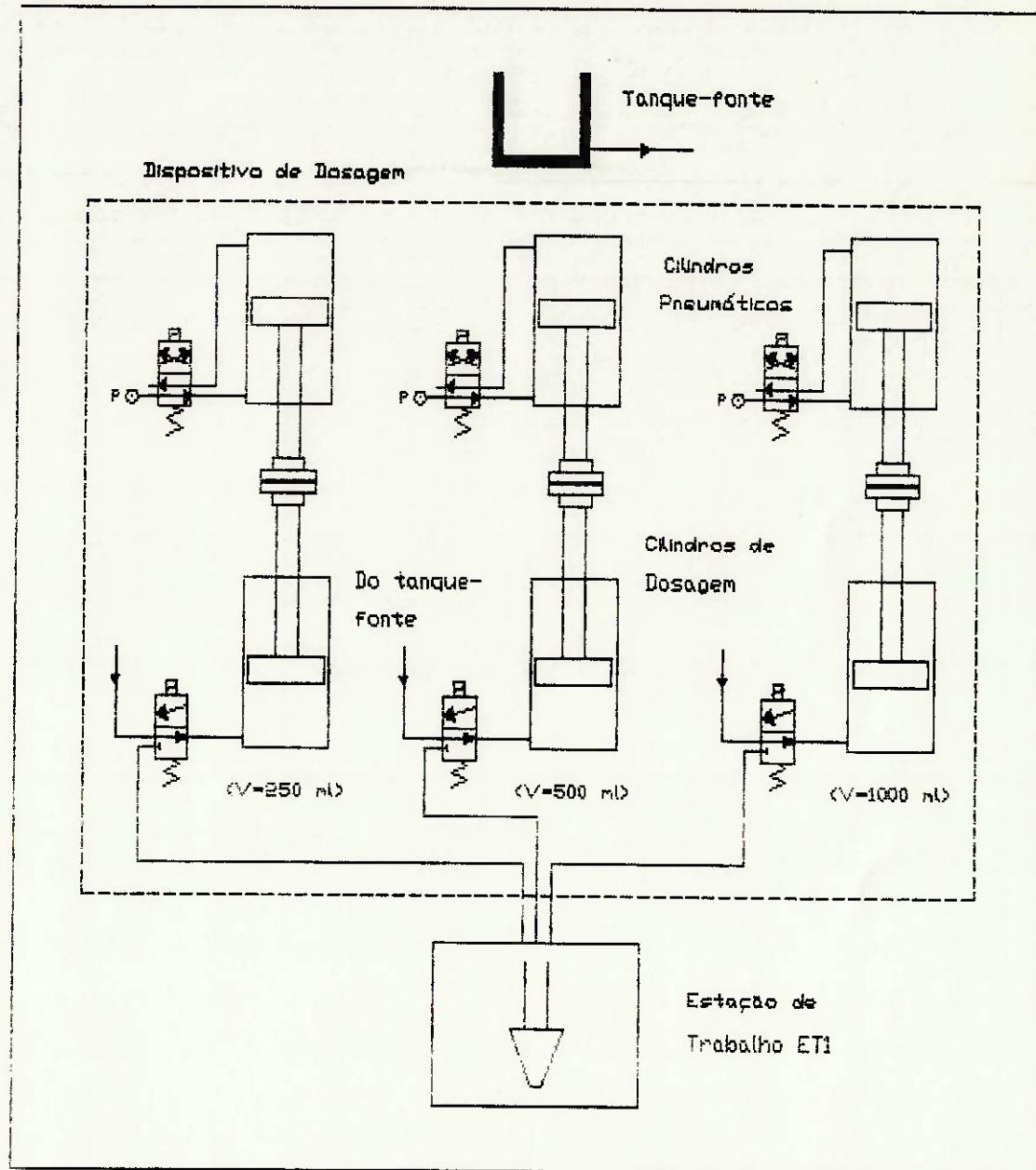


Figura 6: Solução D2 (Três Cilindros de Dosagem).

Para cada volume a ser dosado existe um par de cilindros (acionador e dosador). A seleção do par de cilindros é feita através do acionamento da válvula solenóide correspondente.

- Grupo ET2 (Fechamento)

Solução T1: Tampa de Pressão com Alimentador.

As tampas, previamente colocadas no recipiente do alimentador, sairiam do mesmo enfileiradas e voltadas para baixo, chegando a uma posição de espera pré-definida. O posicionador com uma garra acoplada buscaria as tampas, uma a uma, colocando-as nos frascos com uma leve pressão. Um encaixe poderia ser previsto para melhor vedação.

Solução T2: Tampa de Rosca com Alimentador.

O princípio é o mesmo da solução T1, quanto ao alimentador. Aqui, no entanto, é exigido um eixo adicional para rotação da garra do posicionador, a qual deve também segurar o frasco durante o fechamento para que este não se movimente.

Solução T3: Tampa com Dobradiça.

Essa tampa faria parte do frasco, devendo apenas ser fechada pela garra do posicionador, dispensando o alimentador de tampas.

### - Grupo ETO

#### Solução E1: Máscaras.

No interior de cada caixa seria colocada uma máscara, contendo furos em posições fixas para encaixe dos frascos. Existiriam três tipos de máscaras, permitindo três configurações de frascos dispostos nas caixas, quanto à quantidade e posicionamento dos mesmos.

#### Solução E2: Adaptadores.

No fundo das caixas haveria uma determinada quantidade de furos, cujos diâmetros seriam iguais ao do frasco maior (1000 ml). Os furos estariam dispostos em posições fixas e em cada um poderia ser encaixado um frasco de qualquer tamanho, bastando a colocação de adaptadores nos frascos de menor volume (250 e 500 ml). Esse adaptador seria basicamente um anel com diâmetro interno igual ao do frasco que irá utilizá-lo e diâmetro externo igual ao do furo de encaixe na caixa.

#### Solução E3: Furos escalonados.

No fundo da caixa haveriam posições fixas para colocação de frascos. Em cada posição existiriam três furos escalonados, onde poderia ser acomodado qualquer um dos três frascos.

#### Solução E4: Encaixes.

No fundo da caixa existiriam pinos dispostos em posições fixas. Os frascos seriam projetados com um encaixe no centro da base. Dessa forma, frascos de diferentes tamanhos poderiam ser dispostos aleatoriamente nas posições disponíveis na caixa.

#### Solução E5: Compartimentos.

O interior da caixa seria convenientemente dividido em compartimentos. Cada compartimento poderia acomodar uma certa quantidade de frascos de mesmo tipo, que ficariam fixos pelo próprio contato entre eles e com as paredes do compartimento. Essa solução admite variações quanto à forma dos compartimentos, que deverá assim ser otimizada.

- Grupo T/P

Para essas tarefas prevê-se a utilização de esteiras transportadoras, sensores e dispositivos pneumáticos de fixação das caixas nas Estações de Trabalho.

#### I.4. EXEQUIBILIDADE FÍSICA

##### - Grupo ET1

Todas as soluções referentes a esse grupo, tanto para Seleção como para Dosagem, são baseadas em montagens com ítems disponíveis no mercado.

##### - Grupo ET2

As três soluções propostas para as tampas dos frascos (T1, T2 e T3) são exequíveis pelos processos de fabricação de elementos plásticos.

##### - Grupo ET0

Todas as soluções sugeridas (E1 à E5) implicam na fabricação de caixas especiais. O material adotado seria durável para reaproveitamento das caixas. Por exemplo, madeira compensada.

### I.5. VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA

Sendo este um projeto que visa a participação de diversas empresas interessadas em expor produtos e tecnologias ao mercado, torna-se desnecessária uma análise de custos nesta fase.

Uma vez definidas essas participações, poderá ser avaliado o custo real de implantação do sistema e portanto a sua viabilidade econômica e financeira.

#### I.6. CONCLUSÃO

O Estudo de Viabilidade permitiu uma definição formal do problema, seguida de uma análise da qual resultaram algumas soluções consideradas viáveis até o momento.

O Projeto Básico, que inicia-se a seguir, terá como objetivos a escolha das melhores soluções (segundo critérios convenientes) e um melhor conhecimento do sistema.

**PARTE II**  
**PROJETO BÁSICO**

### **III.1. ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO**

#### **III.1.1. PARÂMETROS DE ANÁLISE**

A seguir são apresentados os parâmetros que serão utilizados para avaliação das soluções propostas para cada grupo funcional.

##### **- Grupo ET1 (Enchimento)**

###### **a) Seleção do tanque-fonte.**

- . **Tempo:** Período médio de parada das caixas na Estação de Trabalho ET1.
- . **Demonstração:** Efeito de demonstração associado.
- . **Controle:** Facilidade de controle.
- . **Manutenção:** Frequência e tipo de manutenção necessários.
- . **Espaço:** Área necessária ao subsistema.

###### **b) Dosagem.**

- . **Tempo:** Período médio de parada das caixas na Estação de Trabalho ET1.
- . **Manutenção:** Frequência e tipo de manutenção necessários.
- . **Espaço:** Área necessária ao subsistema.
- . **Simplicidade:** Facilidade de construção.

- Grupo ET2 (Fechamento)

- . **Tempo:** Período médio de parada das caixas na Estação de Trabalho ET2.
- . **Demonstração:** Efeito de demonstração associado.
- . **Controle:** Facilidade de controle.
- . **Manutenção:** Frequência e tipo de manutenção necessários.
- . **Espaço:** Área necessária ao subsistema.
- . **Vedação:** Capacidade de vedar o frasco.
- . **Fechamento:** Facilidade da operação de fechamento do frasco.
- . **Mecanismos:** Necessidade de mecanismos adicionais para funcionamento do sistema.
- . **Garra:** Simplicidade da garrfa de fechamento.
- . **Confiabilidade:** Índice de falhas esperado na operação de fechamento.

- Grupo ETO (Gerenciamento de Estoques)

- . Demonstração: Efeito de demonstração associado.
- . Tempo: Tempo de preparação de uma caixa.
- . Flexibilidade: Diferentes possibilidades de distribuição de frascos nas caixas quanto ao tipo e quantidade de frascos.
- . Espaço: Otimização no aproveitamento do espaço disponível na caixa.
- . Simplicidade (caixa): Facilidade de obtenção e custo da caixa.
- . Simplicidade (frasco): Facilidade de obtenção e custo do frasco.
- . Confiabilidade: Quanto ao posicionamento preciso dos frascos nas caixas.

### 11.1.2. TABELAS COMPARATIVAS

Nas tabelas a seguir são atribuídos pesos aos parâmetros de avaliação citados no ítem anterior, bem como notas às soluções sugeridas no ítem 1.3. ("Síntese de Soluções").

Os pesos (P) indicam a importância relativa atribuída a cada parâmetro de avaliação e as notas representam o desempenho das soluções nas avaliações.

Em seguida são verificadas as pontuações totais obtidas pelas soluções, através de somas ponderadas das notas, indicando as soluções que reúnem melhores qualidades.

#### - Grupo ET1

##### a) Seleção do tanque-fonte.

	P	S1	S2
Tempo	4	6	10
Demonstração	5	7	9
Controle	2	7	9
Manutenção	3	9	7
Espaço	3	9	7

$$\begin{aligned} \text{Totais: } S1 \times P &= 127 \\ S2 \times P &= 145 \end{aligned}$$

##### b) Dosagem.

	P	D1	D2
Tempo	4	6	8
Manutenção	3	9	7
Espaço	3	9	7
Simplicidade	3	8	6

$$\begin{aligned} \text{Totais: } D1 \times P &= 102 \\ D2 \times P &= 92 \end{aligned}$$

- Grupo ET2

	P	T1	T2	T3
Tempo	4	6	5	9
Demonstração	5	6	7	8
Controle	2	7	6	9
Manutenção	3	8	7	9
Espaço	3	8	8	10
Fechamento	4	7	6	9
Mecanismos	4	7	6	10
Garra	4	8	6	7
Confiabilidade	5	7	6	9

Totalis: T1 x P = 239

T2 x P = 214

T3 x P = 300

- Grupo ETO

	P	E1	E2	E3	E4	E5
Tempo	4	7	6	8	8	8
Demonstração	5	7	8	8	8	9
Flexibilidade	5	7	8	8	8	9
Espaço	3	10	7	7	7	10
Simplicidade (caixa)	3	9	8	7	7	9
Simplicidade (frasco)	3	9	9	9	8	8

Totais: E1 x P = 182

E2 x P = 176

E3 x P = 181

E4 x P = 178

E5 x P = 203

### 11.1.3. SÍNTSESE DAS SOLUÇÕES ESCOLHIDAS

A partir das tabelas comparativas do ítem anterior foram obtidas as soluções que reúnem melhores condições de atender às necessidades específicas de cada grupo funcional ou subsistema.

Essas soluções são sintetizadas a seguir:

- Grupo ET1

- a) Seleção do tanque-fonte: Solução S2 (Vias Distintas).
- b) Dosagem: Solução D1 (Um Cilindro de Dosagem).

- Grupo ET2

Solução T3 (Tampa com Dobradiça).

- Grupo ET0

Solução E5 (Compartimentos).

A descrição destas soluções é apresentada no ítem 1.3. ("Síntese de Soluções").

#### 11.1.4. POTENCIAL DO SISTEMA

Uma vez escolhidas as soluções, algumas considerações podem ser feitas quanto às reais possibilidades alcançadas pelo sistema.

Para início das operações de envasamento todas as Estações de Trabalho recebem informações do sistema de controle sobre a configuração da caixa e ser processada a cada instante.

Essa configuração inclui quantidade, disposição e tipos de frascos na caixa, além do produto que deverá conter cada frasco.

Cada Estação receberá o conjunto de informações necessárias ao cumprimento de sua(s) tarefa(s). Assim:

<u>Estação</u>	<u>Informações Fornecidas</u>
ET1	quantidade(s), disposição, tipo(s), produto(s).
ET2	quantidade(s), disposição, tipo(s),
ETO	quantidade(s), disposição, tipo(s).

A Estação ETO poderá, se incluídos os dispositivos necessários, ser capaz de preparar uma caixa, posicionando frascos vazios em seu interior segundo a configuração fornecida pelo sistema de controle. As caixas admitem múltiplas configurações de frascos em seus compartimentos.

Essa Estação será responsável pelas tarefas de manipulação de estoques descritas no item 1.1.4.3. ("Concepção Geral do Sistema - Sistema AS/RS").

Na Estação ET1 os frascos serão enchidos sequencialmente com até três produtos distintos na mesma caixa (provenientes dos três tanques de armazenamento da etapa de Mistura), sem qualquer operação de lavagem de vias ou dispositivos de dosagem, durante um período único de parada na Estação.

Considerando as possíveis combinações de produtos (três) e frascos (três), poderão ser obtidas caixas contendo até nove tipos de produtos finais em diferentes quantidades e disposições.

Uma quantidade maior de produtos finais em uma mesma caixa poderá ser conseguida com o re-processamento da mesma após troca(s) de produto(s) nos tanques de armazenamento da etapa de Mistura, com as necessárias operações de lavagens. Nesse

caso o limite passaria a ser de dezoito produtos finais em uma mesma caixa.

A Estação ET2 efetuará o fechamento sequencial dos frascos que já contém tampas com dobradiças incorporadas e abertas.

## II.2. MODELAGEM DO DESEMPENHO

Nesse tópico será feito um modelamento da etapa de Envasamento para obtenção da capacidade produtiva do sistema quando da operação em diversas situações.

O estudo será baseado em estimativas de tempos para diversas operações simples do sistema, permitindo a identificação posterior de etapas críticas ou limitantes no que se refere aos tempos totais de processamento na linha de envasamento (Análise de Sensibilidade).

### 11.2.1. ESTIMATIVAS DE TEMPOS

<u>- Operações simples</u>	<u>Tempo (s)</u>
<u>- Grupo T/P</u>	
. Transporte e posicionamento simultâneo de novas caixas nas Estações ET1 e ET2:	5
<u>- Grupo ET1</u>	
. Deslocamento dos posicionadores entre frascos:	1
. Enchimento ( 250 ml):	2
( 500 ml):	4
(1000 ml):	8
<u>- Grupo ET2</u>	
. Deslocamento dos posicionadores entre frascos:	1
. Fechamento:	1
<u>- Grupo ET0</u>	
. Deslocamento dos posicionadores até determinada prateleira e fechamento ou abertura da garra:	3
. Retirada ou colocação de caixa na prateleira:	1
. Deslocamento dos posicionadores até a esteira e abertura ou fechamento da garra:	3

- Tempos totais

As estimativas de tempos totais serão feitas considerando uma caixa contendo seis frascos de 500 ml (6 x 500 ml):

ET1: 29 s

ET2: 11 s

ETO (carga): 7 s                          => ETO: 14 s  
ETO (descarga): 7 s

T/P: 5 s

### 11.2.2. PRODUTIVIDADE DO SISTEMA

Serão analisadas a seguir quatro possibilidades de operação do sistema. Em todas supõe-se atingido o nível de funcionamento contínuo.

#### a) Envasamento.

Operação simples de envasamento de lote(s) produzido(s) na etapa de Mistura. Envolve:

- . Busca e colocação de caixas na linha. As caixas, contendo frascos vazios, teriam sido previamente preparadas (segundo configuração fornecida ao sistema ou manualmente) e armazenadas em prateleiras.
- . Paradas nas Estações de Trabalho ET1 e ET2.
- . Retirada das caixas ao final da linha e armazenamento das mesmas em prateleiras.

Capacidade média do sistema

(caixa com 6 x 500 ml): 1 caixa a cada 34 s.

Obs.: Este resultado foi obtido somando-se o tempo de transporte e posicionamento (T/P) com o tempo de parada na Estação de Trabalho ET1 que é o limitante ou crítico.

#### b) Recebimento.

Operação simples de recebimento de matérias-primas para a etapa de Envasamento (caixas e frascos). Envolve:

- . Retirada do material ao final da linha e armazenamento em prateleiras. Supõe-se que o material é adequadamente colocado no início da linha de recebimento por um operador.

Capacidade média do sistema: 1 caixa a cada 7 s.

#### c) Expedição.

Operação simples de expedição de produtos finais para distribuição. Envolve:

- . Busca e colocação na linha de caixas já processadas e

armazenadas em prateleiras. Supõe-se que as caixas são retiradas ao final da linha de expedição por um operador.

Capacidade média do sistema: 1 caixa a cada 7 s.

d) Recebimento / Expedição.

Operação "símultânea" de recebimento e expedição. Envolve todas as tarefas citadas para as duas operações simples.

Capacidade média do sistema: 1 caixa a cada 7 s, alternando recebimento e expedição.

Obs.: Para obtenção das capacidades médias determinadas para as operações de Recebimento, Expedição e Recebimento / Expedição, deverão ser garantidas as mesmas velocidades para as operações manuais de retirada e colocação de materiais nas respectivas linhas, ou previstos "buffers" de carga e descarga, isto é, regiões de armazenamento temporário.

### III.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Analizando as estimativas de tempo realizadas no ítem II.2.1. ("Estimativa de Tempos"), nota-se que os tempos de parada na Estação de Trabalho ET1 e de transporte e posicionamento são os que limitam a produtividade do sistema, durante a operação de envasamento.

Qualquer diminuição que se obtenha nesses tempos representará, portanto, uma diminuição igual no tempo total de envasamento.

Seguem-se como limitantes os tempos envolvidos nas Estações de Trabalho ETO e ET2.

Nos demais modos de operação (Recebimento, Expedição e Recebimento / Expedição) apenas a Estação de Trabalho ETO entra em funcionamento, em série com operações manuais de carga e/ou descarga de materiais.

Nessa fábrica-piloto deverão ser limitantes os tempos envolvidos nas tarefas da Estação ETO, porém em uma aplicação real seria necessário um estudo mais aprofundado no sentido de determinar os tempos relacionados as operações manuais e possibilitar a otimização do sistema.

#### II.4. ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE

Neste ítem ressaltamos a necessidade de compatibilidade dos diversos subsistemas que compõe o sistema de envasamento, quanto ao aspecto de sincronismo.

A cada período de parada do sistema de transporte, diversas operações serão desencadeadas e realizadas simultaneamente nas Estações de Trabalho.

É fundamental, portanto, que o sistema seja adequadamente supervisionado para que haja confirmação de que todas as Estações terminaram as suas tarefas antes que haja movimentação do sistema de transporte.

Analogamente, em cada Estação de Trabalho diversos eventos irão se suceder, devendo haver o controle simultâneo e preciso de todos os passos dentro de cada Estação.

## II.5. ANÁLISE DE ESTABILIDADE

O funcionamento correto do sistema de envasamento depende da atuação precisa e sincronizada de diversos posicionadores distribuídos nas Estações de Trabalho, bem como do sistema de transporte.

O sistema será intrinsecamente estável desde que:

- a) o sistema de controle assegure-se do envio correto e sincronizado de ordens a todas as Estações de Trabalho e ao sistema de transporte simultaneamente.
- b) os posicionadores atendam às ordens de posicionamento, mantendo-se nas faixas aceitáveis de precisão e repetibilidade.
- c) os demais mecanismos (válvulas solenóides, elementos pneumáticos, etc) atuem da forma esperada quando solicitados.
- d) os sinais auxiliares provenientes do sistema de envasamento (sensores de posição, leitoras de códigos de barras, etc) informem corretamente ao sistema de controle o "status" da linha, permitindo ainda a identificação de falhas no sistema.

A não verificação das condições citadas poderá significar a ocorrência de falhas diversas, comprometendo o funcionamento de todo o sistema de envasamento.

Poderão resultar dessas falhas: produtos mal embalados, perda de produto, interrupção completa da linha, colisões e danos nos equipamentos.

O fato de não haver a presença do elemento humano atuando diretamente no processo implica na necessidade de um sistema de controle e supervisão eficiente para manutenção da estabilidade do sistema.

### III.6. OTIMIZAÇÃO FORMAL

A otimização do uso de uma linha qualquer implica na minimização de períodos ociosos.

Nota-se no ítem III.2.1. ("Estimativa de Tempos") que poderão ocorrer diferenças significativas entre os instantes de término das tarefas das Estações de Trabalho, dependendo da configuração das caixas.

Isto significa que à medida que as Estações terminem as suas tarefas elas devam aguardar (paradas) o término dos trabalhos das demais Estações.

Na impossibilidade de acelerar-se o trabalho de uma Estação mais lenta, uma solução seria a previsão de mais de uma Estação para desempenho das mesmas funções simultaneamente.

Assim por exemplo, poderiam existir duas Estações do tipo ET1 processando caixas em paralelo, seguidas por apenas uma Estação do tipo ET2 atendendo a ambas as anteriores.

Porém, essa solução, que poderia ser de fundamental importância em uma fábrica real, é desnecessária no caso de uma fábrica-piloto como a do CIS POLI/AC, onde a capacidade produtiva é um fator secundário.

## II.7. PREVISÕES PARA O FUTURO

O CIS POLI/AC introduz no mercado nacional tecnologias e conceitos inovadores no campo da automação e integração de sistemas.

A etapa de Envasamento contribuirá com este objetivo, quando implementada.

Pode-se portanto supor, com boa margem de segurança, que não existe risco de obsolescência do projeto durante o prazo de implantação do mesmo, previsto em aproximadamente um ano.

Por outro lado, a própria filosofia do CIS POLI/AC de apresentar-se como uma vitrine tecnológica no campo da automação pressupõe a sua constante modernização.

Garante-se assim no futuro a sua característica geral de inovação no mercado nacional.

## II.8. PREVISÃO DO TEMPO DE FUNCIONAMENTO

No ítem anterior foi salientada a intenção de manter-se o CIS POLI/AC como um centro tecnologicamente atualizado dentro da realidade do mercado interno.

Dessa forma, estima-se que o prazo de funcionamento de alguns equipamentos será determinado pela obsolescência técnica dos mesmos.

Não se trata de um sistema destinado a permanecer sem alterações durante a sua vida útil.

Melhorias ou completas substituições serão efetuadas à medida que seja possível ou necessário.

Portanto, não será feita uma previsão de funcionamento do sistema, porém é assegurada a durabilidade dos equipamentos individualmente durante o prazo máximo esperado para que ocorra renovação tecnológica, desde que cumpridos os programas de manutenção preventiva e corretiva.

## II.9. ENSAIOS E TESTES

O funcionamento adequado da etapa de Envasamento, caracterizada pelo uso de sistemas de precisão, depende do ajuste individual de todos os subsistemas e da sua posterior integração, através de um sistema amplo de controle.

Novamente destaca-se a necessidade de sincronização de todos os eventos que ocorram simultaneamente na linha de envasamento.

Deve-se assim ser previsto, ao final da montagem e antes da implantação definitiva do processo, um período de ensaios e testes a fim de colocar o sistema em operação normal, com o desempenho e confiabilidade esperados.

### **III.10. CONCLUSÃO**

Concluído o Estudo de Viabilidade e o Projeto Básico da Etapa de Envasamento do GIS POLI/AC, acredita-se que os objetivos principais desses trabalhos tenham sido atingidos, resultando um sistema que corresponde ao conjunto de necessidades inicialmente apresentadas.

Na realidade, verificou-se o requisito maior de uma linha flexível, possibilitando que sejam promovidas demonstrações das vantagens associadas à automação e integração de sistemas.

A fase seguinte, o Projeto Executivo, encontrará nesses estudos subsídios para um desenho detalhado do sistema, permitindo a sua realização prática.

BIBLIOGRAFIA

- Madureira, Omar Moore de  
"Metodologia do Projeto"  
EPUSP, Apostila do Curso de Metodologia do Projeto  
1988
- Moskalenko, V.A.  
"Mechanisms"  
London, Iliffe Books Limited  
1964
- Nof, Shimon Y.  
"Handbook of Industrial Robotics"  
New York, John Wiley & Sons, Inc.  
1985
- Catálogos de Fabricantes:
  - . FESTO Máquinas e Equipamentos Pneumáticos Ltda.
  - . WEG Automação Ltda.

