

## PROJETO DE FÁBRICA

### TIPOS DE ARRANJO FÍSICO

#### 1. ARRANJO FÍSICO

##### 1.1 Introdução

O arranjo físico de uma operação produtiva diz respeito ao posicionamento físico dos seus recursos transformadores. Isso significa decidir onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da operação. O arranjo físico é geralmente aquilo que normalmente notamos primeiro ao entrar em uma unidade produtiva, porque ele determina a aparência da operação. Também determina a maneira segundo a qual os recursos transformados - materiais, informação e clientes - fluem pela operação. Mudanças relativamente pequenas dos produtos em um supermercado, ou a mudança de salas em um centro esportivo ou mudanças na localização de uma máquina numa fábrica, podem afetar o fluxo pela operação, o que, por sua vez, pode afetar os seus custos e a eficácia geral.

##### **Exemplo de como o arranjo físico impacta os lucros do supermercado (Fonte: Slack et.al, 2009)**

*Os supermercados não dispõem os produtos ao acaso. Eles sabem que o arranjo físico de suas lojas pode ter um grande impacto na lucratividade. Localizar produtos, balcões e caixas em um supermercado é uma arte e uma ciência firmemente baseadas no comportamento de consumo dos clientes. Nos primórdios, um supermercado decidiu localizar os produtos nas prateleiras seguindo a ordem em que deveriam ser consumidos. Dessa forma, enquanto os consumidores passassem pelos corredores, a sopa viria antes do peixe, seguido de carnes e vegetais e, por último, sobremesas e frutas. Esse arranjo não funcionou. Atualmente, os supermercados sabem que necessitam maximizar a receita e a contribuição por metro quadrado, assim como minimizar os custos de operação da loja. Nem toda decisão de arranjo físico, no entanto, é tomada visando maximizar vendas. O conforto e a conveniência dos consumidores são fatores importantes, assim como a habilidade de evacuar a loja rapidamente em caso de emergência.*

*Em um nível básico, os supermercados precisam alocar corretamente o volume de espaço para diferentes áreas. Lojas que apresentem um grande pico de vendas, por exemplo, nos finais de tarde tendem a ter mais espaço destinado a caixas para evitar longas filas nessas horas. A pergunta então é: "Como pode o arranjo físico da loja induzir os consumidores a comprar mais?" A primeira coisa a fazer é acertar a circulação. A maior parte das pessoas, quando entram em um espaço fechado, olham primeiro para a esquerda mas movimentam-se para a direita; assim, para captar a atenção dos consumidores, os supermercados geralmente localizam sua porta de entrada no lado esquerdo de um prédio com o arranjo físico desenhado para levar os consumidores no sentido horário da loja. Os corredores precisam ser largos o suficiente para evitar diminuir o ritmo dos carrinhos de modo que os consumidores prestem mais atenção aos produtos expostos (e comprem mais). Entretanto, corredores mais largos existem em detrimento de redução de espontânea e o custo de abastecimento das prateleiras. Embora a maioria das vendas de supermercados sejam embaladas, enlatadas ou congeladas, a disposição de frutas e vegetais é geralmente localizada adjacente à entrada principal, como um sinal de frescor e integridade no ponto de entrada. Produtos básicos como farinha, açúcar e pão são geralmente localizados no fundo da loja e longe um do outro, de modo que o consumidor, ao procurá-los, tenha que passar por produtos que apresentam margens mais altas. Produtos com margens mais altas são normalmente dispostos nas prateleiras na altura dos olhos (onde temos mais chance de enxergar) e produtos com margens mais baixas, nas prateleiras mais baixas ou mais altas. Certos consumidores dão alguns passos à frente do corredor antes de começar a procurar o que necessitam, trecho que os supermercados chamam de "espaço morto". Não é lugar para dispor bens de compra por impulso. O lugar principal de um supermercado é a "ponta da gôndola", as prateleiras ao final do corredor. Mudar os produtos para esse local pode aumentar as vendas em 200 ou 300 por cento. Não é surpresa que os fornecedores disponham-se a pagar para localizar seus produtos ali.*

*Os próprios supermercados salientam que, embora o arranjo físico de suas lojas evidentemente seja projetado com o comportamento dos consumidores em mente, é contraprodutivo ser muito manipulador. Eles negam que alterem periodicamente a localização dos produtos alimentares para tirar os consumidores de seus padrões de compras habituais, de modo a torná-los mais atentos a outros produtos e mais dispostos a comprar mais. Ocasionalmente, os arranjos físicos são alterados, eles afirmam, principalmente para acomodar mudanças de gostos e novos produtos.*

## 1.2 Definição

### Que é arranjo físico?

O "arranjo físico" de uma operação ou processo é como seus recursos transformadores são posicionados uns em relação aos outros e como as várias tarefas da operação serão alocadas a esses recursos transformadores. Juntas, essas duas decisões irão ditar o padrão do fluxo dos recursos transformados à medida que eles progridem pela operação ou processo. A decisão do arranjo físico é importante porque, se o arranjo físico estiver errado, pode levar a padrões de fluxo muito longos ou confusos, filas de clientes, longos tempos de processo, operações inflexíveis, fluxos imprevisíveis e altos custos. Além disso, o rearranjo físico de uma operação existente pode interromper seu funcionamento, levando à insatisfação do cliente ou a perdas na produção. Por serem as decisões de arranjo físico difíceis e caras, os gerentes de operações podem relutar em tomá-las com frequência. O projeto do arranjo físico deve iniciar-se com a avaliação extensiva dos objetivos que o arranjo físico está tentando alcançar. Entretanto, isso é apenas o ponto de partida do que é um processo de múltiplos estágios que levam ao arranjo físico final de uma operação.

### Que faz um bom arranjo físico?

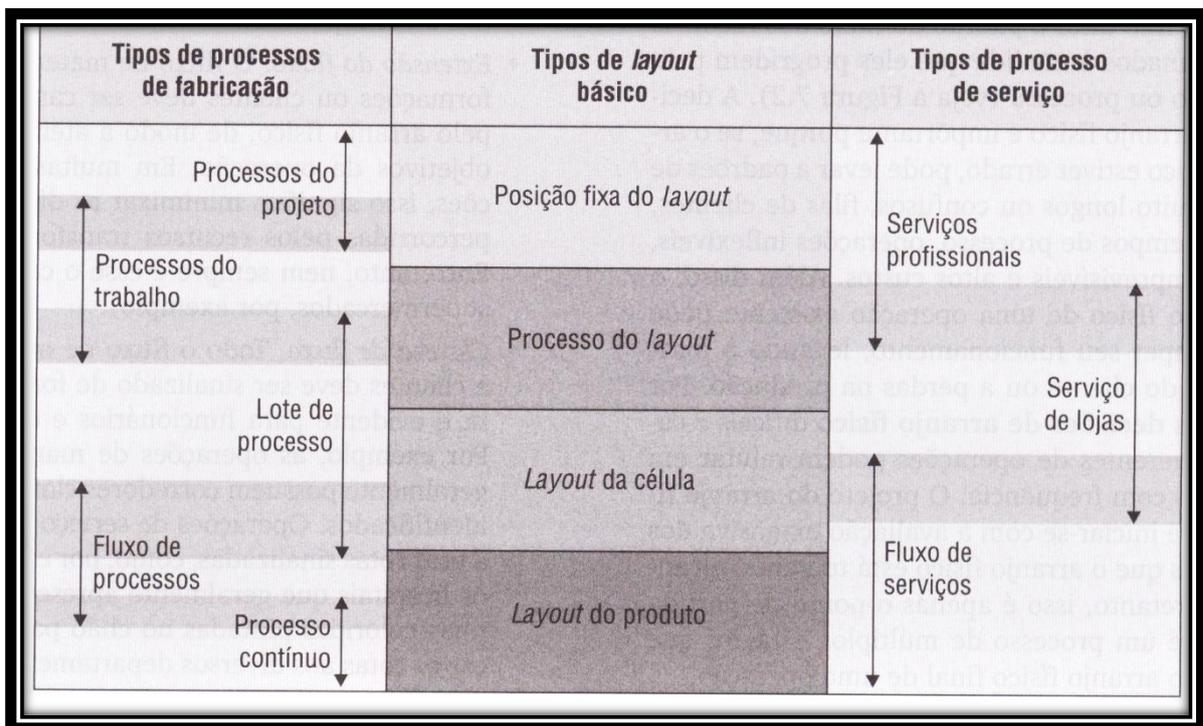
Em grande parte, os objetivos de qualquer arranjo físico dependerão dos objetivos estratégicos de uma operação, mas existem alguns objetivos gerais que são relevantes a todas as operações:

- *Segurança inerente.* Todos os processos que podem representar perigo, tanto para a mão-de-obra como para os clientes, devem ter acesso liberado somente a pessoal autorizado. As saídas de emergência devem ser claramente sinalizadas com acesso livre. As circulações devem estar claramente definidas e desimpedidas.
- *Extensão do fluxo.* O fluxo de materiais, informações ou clientes deve ser canalizado pelo arranjo físico, de modo a atender aos objetivos da operação. Em muitas operações, isso significa minimizar as distâncias percorridas pelos recursos transformados. Entretanto, nem sempre é esse o caso (em supermercados, por exemplo).
- *Clareza de fluxo.* Todo o fluxo de materiais e clientes deve ser sinalizado de forma clara e evidente para funcionários e clientes. Por exemplo, as operações de manufatura geralmente possuem corredores claramente identificados. Operações de serviço tendem a usar rotas sinalizadas, como, por exemplo, os hospitais que geralmente apresentam linhas coloridas pintadas no chão para indicar as rotas aos diversos departamentos.
- *Conforto para os funcionários.* Os funcionários devem ser localizados longe das partes barulhentas ou desagradáveis da operação. O arranjo físico deve oferecer um ambiente de trabalho bem ventilado, bem iluminado e, sempre que possível, agradável.
- *Coordenação gerencial.* Supervisão e comunicação devem ser facilitadas pela localização dos funcionários e dispositivos de comunicação.
- *Acessibilidade.* Todas as máquinas, instalações e equipamentos devem apresentar um nível de acessibilidade suficiente para limpeza e manutenção adequadas.
- *Uso do espaço.* Todos os arranjos físicos devem permitir uso adequado de espaço disponível da operação (incluindo altura, assim como a área de chão). Isso geralmente significa minimizar o espaço utilizado para uso específico, mas algumas vezes pode significar criar uma impressão de espaço luxuoso, como no *lobby* de entrada de um hotel de alta classe.
- *Flexibilidade de longo prazo.* Os arranjos físicos devem ser alterados periodicamente à medida que as necessidades da operação mudam. Um bom arranjo físico terá sido concebido com possíveis necessidades futuras da operação em mente. Por exemplo, se a demanda para um produto ou serviço aumentar, o arranjo físico desenhado pode acomodar a futura expansão?

### 1.3 Relação entre arranjo físico e tipo de processo

Os "tipos" de processo (descritos no Módulo 3 - Projeto de Processos) representam abordagens gerais para a organização das atividades e processos de produção. Arranjo físico é um conceito mais restrito, porém relacionado, já que, de muitas formas, é a manifestação física de um tipo de processo (Ver Figura 4). É a característica de volume-variedade da operação que dita o tipo de processo. Há, entretanto, frequentemente, alguma superposição entre tipos de processo que podem ser utilizados para determinada posição do binômio volume-variedade. Em casos em que mais do que um tipo de processo é possível, a importância relativa dos objetivos de desempenho da operação pode influenciar na decisão. Em geral, quanto mais importante for o objetivo custo para a operação, mais provável será que ela adote um tipo de processo próximo ao extremo alto volume - baixa variedade do espectro de tipos de processo.

Figura 4: Relação entre tipos de processo e tipos básicos de arranjo físico.



Fonte: Slack et.al, 2009

### 1.4 Tipos básicos de arranjo físico

A maioria dos arranjos físicos, na prática, deriva de apenas quatro tipos básicos de arranjo físico:

- Arranjo físico posicional ou de posição fixa;
- Arranjo físico funcional ou por processo;
- Arranjo físico celular;
- Arranjo físico por produto ou em linha.

Esses tipos de arranjos físicos relacionam-se, de forma não determinística, aos tipos de processo (descritos no Módulo 3 - Projeto de Processos). Como a Figura 4, indica um tipo de processo não implica necessariamente um tipo básico de arranjo físico em particular.

### 1.4.1 Arranjo físico posicional

O arranjo físico posicional (também conhecido como arranjo físico de posição fixa) caracteriza-se pelo material ou pessoa processado pela operação (ficar estacionário por impossibilidade, ou por inviabilidade ou por inconveniência de fazê-lo mover-se entre as etapas do processo de agregação de valor). Como o objeto da operação fica estacionado, são os recursos que se deslocam até ele. Exemplos são:

- A construção civil: é, em geral, impossível fazer um edifício mover-se entre etapas de um processo produtivo;
- Cirurgia de coração - pacientes estão em um estado muito delicado para serem movidos;
- Estaleiros: produto muito grande para mover-se;
- Aviões de grande porte: produto muito grande para mover-se
- Restaurantes: o cliente fica sentado e os recursos vão a ele;
- Manutenção de computador de grande porte: produto muito grande e provavelmente também muito delicado para ser movido e o cliente pode negar-se a trazê-lo para manutenção.
- Unidades de terapia intensiva;

Trata-se, em geral, de um tipo de arranjo físico cuja eficiência é baixa (daí ser crescentemente comum que as operações que necessitam operar com arranjos posicionais terceirizem grande parte das etapas do processo de agregação de valor a empresas especializadas que podem, então, utilizar seus recursos em uma maior quantidade de operações). Permite, entretanto, grau máximo de customização: as produções que se utilizam de arranjos posicionais, geralmente, dedicam-se a produtos únicos ou em muito pequenas quantidades. Num restaurante convencional, por exemplo, os custos de servir são muito maiores que num restaurante do tipo bandejão.

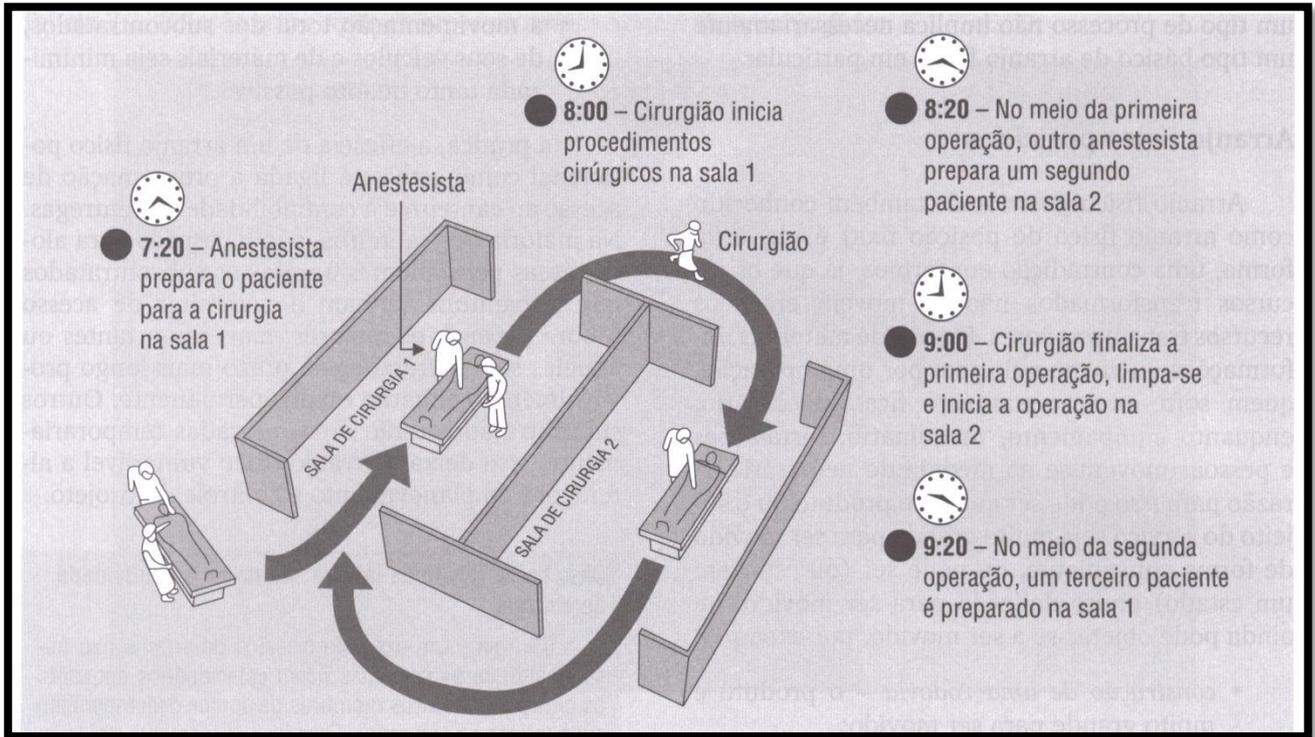
A marca principal do arranjo de posição fixa é a baixa produção. Com frequência, o que se pretende é trabalhar apenas uma unidade do produto, com características únicas e baixo grau de padronização: dificilmente um produto será rigorosamente igual ao outro. A produção, por sua vez, irá exigir muitas atividades diferentes, conduzindo em geral a uma grande variedade de habilidades das pessoas envolvidas e a esforços de coordenação dessas atividades proporcionalmente consideráveis.

**Exemplo de arranjo físico posicional**  
**"Fluxo de fábrica" ajuda na produtividade de cirurgia**  
(Fonte: Slack et.al, 2009)

Cirurgia é um exemplo clássico de arranjo fixo posicional onde os pacientes ficam estacionários enquanto os cirurgiões e outros membros da equipe desempenham suas tarefas ao seu redor. Essa ideia, no entanto, foi levada um passo adiante por um cirurgião que se move continuamente entre duas salas de cirurgia. Enquanto está operando um paciente em uma sala de cirurgia, seus colegas anestesistas estão preparando um segundo paciente em outra sala. Após terminar com o primeiro paciente, o cirurgião limpa-se e move-se para a segunda sala de cirurgia para iniciar o procedimento no segundo paciente. Enquanto isso, o primeiro paciente é levado embora do centro cirúrgico e um terceiro paciente começa a ser preparado na primeira sala de cirurgia. O cirurgião desenvolveu esse método de operações sobrepostas em diferentes salas de cirurgias porque, segundo ele, ficava frustrado em desperdiçar seu tempo tomando chá enquanto os pacientes eram preparados para cirurgias. "Se você está administrando uma fábrica", afirma, "você não permite que sua máquina mais importante e cara fique ociosa. Isso também é verdade em um hospital."

Atualmente esse arranjo é utilizado para cirurgias de reposição de articulações de quadril e joelhos e não seria adequado a todos os procedimentos cirúrgicos. Desde a introdução desse arranjo físico, no entanto, a lista de espera do cirurgião caiu a zero e sua produtividade dobrou.

Figura 5: Linha de montagem em um centro cirúrgico



Fonte: Slack et.al, 2009

#### 1.4.2 Arranjo Físico Funcional ou por processo

No arranjo físico por processo, característico de muitas indústrias e provavelmente da maioria das atividades de prestação de serviços, os centros de trabalho são agrupados de acordo com a função que desempenham. Os materiais (ou pessoas) movem-se de um centro a outro de acordo com a necessidade. Hospitais, escolas, armazéns, bancos e muitas outras atividades são organizados por processo; na indústria, esse tipo de arranjo físico indica que as máquinas de uma mesma função são agrupadas em departamentos funcionais, e o produto caminha até a máquina adequado à próxima operação. O mesmo grupo de máquinas, assim, serve a produtos diferenciados, aumentando a flexibilidade do sistema a mudanças no projeto do produto e/ou processo.

Em outros termos, a lógica desse tipo de arranjo é a de agrupa recursos com função ou processo similar. Alguns outros exemplos ilustram esse tipo de arranjo físico:

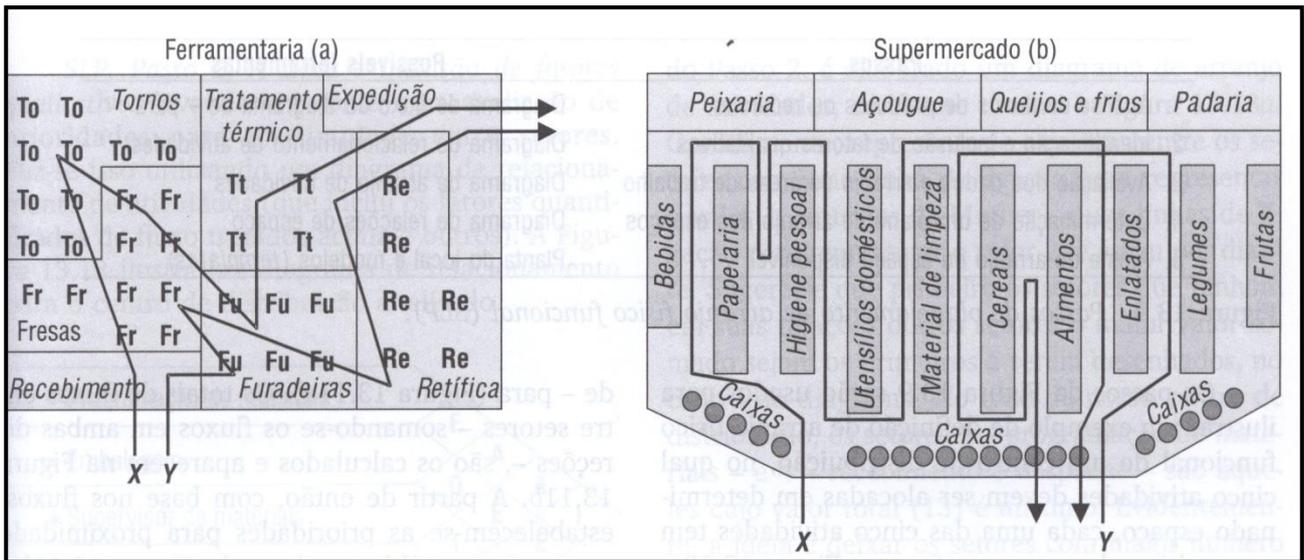
- Numa planta fabril com arranjo funcional, os tornos ficam todos agrupados na "torneria", as furadeiras ficam agrupadas no "setor de furação", e assim por diante;
- Numa loja de departamentos com arranjo por processo, a organização de seus departamentos é feita em "roupas femininas", "roupas masculinas", "sapatos" etc;
- Num supermercado com arranjo por processo os produtos são também, em geral, agrupado de acordo com sua função: "material de limpeza", "congelados", "alimentos" etc;
- Num hospital com arranjo funcional, os setores são organizados pela especialidade ou função "setor de radiologia", "setor de ortopedia" "setor de análises clínicas" etc.

Veja a Figura 6 para uma ilustração de arranjos físicos funcionais para acomodar (a) fluxos de materiais e (b) fluxos de clientes.

O arranjo físico funcional é, em geral, usado quando os fluxos que passam pelos setores são muito

variados e ocorrem intermitentemente. Observe que, embora na Figura 6 apenas dois fluxos possíveis estejam representados, fica claro que as possibilidades deste tipo de arranjo físico lidar com diferentes roteiros para os fluxos são enormes. Isso é o que faz esse tipo de arranjo físico ser considerado bastante flexível. Por outro lado, também é fácil imaginar que esse tipo de arranjo, quando os fluxos começam a ficar intensos faz com que os fluxos se cruzem, acarretando piora na eficiência e aumento no tempo de *atravessamento* dos fluxos. Esse é um *trade-off* presente nesse tipo de arranjo: privilegia a flexibilidade dos fluxos (permite, por exemplo, que independentemente da preferência ou necessidade do cliente de percorrer diferentes trajetos, mais longos ou mais curtos, todos possam ser acomodados) à custa da eficiência: observe as distâncias percorridas como tendem a ser longas, com movimentações, a rigor, desnecessárias, entre diferentes máquinas na ferramentaria (Figura 6, letra a) e entre diferentes gôndolas no supermercado (Figura 6, letra b).

Figura 6: Ilustração de arranjos físicos por processo e os correspondentes fluxos X e Y de pessoas (a) e de materiais (b)



Fonte: Corrêa e Corrêa (2011)

São características fundamentais do arranjo físico por processo:

- A adaptação à produção de uma linha variada de produtos ou a prestação de diversos serviços.
- Cada produto passa pelos centros de trabalho necessários, formando uma rede de fluxos. No caso de atividades de serviços, a movimentação é a do próprio cliente, como a que ocorre com os pacientes em um hospital ou clínica.
- As taxas de produção são relativamente baixas, se comparadas àquelas obtidas com o arranjo físico por produto. Dessa forma existe, entre os dois tipos de arranjo, uma troca entre flexibilidade e volume de produção.
- Os equipamentos são principalmente do tipo "propósito geral", ou seja, comercialmente disponíveis sem necessidade de projeto específico. Esses equipamentos são mais flexíveis (adaptam-se melhor a produtos de características diferentes) que aqueles projetados especialmente para os arranjos físicos por produto.
- Em relação ao arranjo físico por produto, os custos fixos são relativamente menores, mas os custos unitários de matéria-prima e mão-de-obra são relativamente maiores.

As listas de vantagens e desvantagens também são evidentes a partir das características apontadas. Entre as vantagens básicas, conta-se em primeiro lugar a flexibilidade do sistema em adaptar-se a produtos (ou serviços) variados. Os equipamentos são mais baratos que no arranjo por produto, conduzindo a custos fixos menores. É fácil perceber que as falhas localizadas no sistema não trazem as mesmas consequências graves que no arranjo por produto, dado que, neste caso, as operações gozam

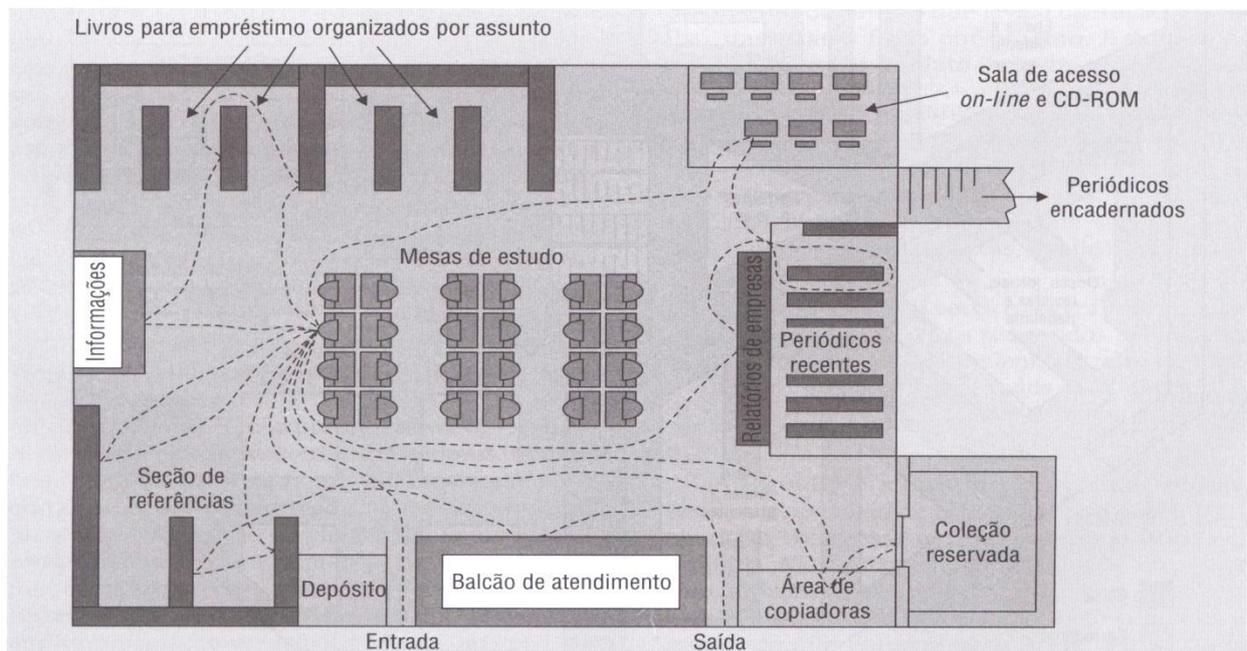
de certa independência. Por último, o sistema permite a implantação de sistemas de incentivo individuais, pelo mesmo motivo.

Quanto às desvantagens, as mais significativas são:

- os estoques de material em processo tendem a ser elevados e bloquear a eficiência do sistema;
- a programação e o controle da produção tornam-se complexos, ao terem que trabalhar com variados produtos e suas exigências operacionais particulares;
- o manuseio de materiais tende a ser ineficiente;
- a contrapartida da flexibilidade é a obtenção de volumes relativamente modestos de produção, a custos unitários maiores que no caso do arranjo físico por produto.

A Figura 7 mostra outro exemplo de um arranjo físico funcional, o de uma biblioteca de uma escola de administração de empresas. As várias áreas - livros de referência, mesa de informações, periódicos e assim por diante - são localizadas em partes diferentes da operação. O cliente fica livre para mover-se entre áreas conforme sua conveniência. A figura mostra também o roteiro percorrido por um cliente numa visita à biblioteca. Se os roteiros percorridos por todos os clientes que visitam a biblioteca estivessem superpostos à planta baixa, o padrão do tráfego de clientes ao longo da operação seria revelado. A densidade do fluxo de tráfego é uma informação importante no projeto detalhado desse tipo de arranjo físico, como será visto adiante neste capítulo. O principal ponto a ser entendido agora é que, alterando-se a localização das várias áreas na biblioteca, alterar-se-á o padrão de fluxo de tráfego para a biblioteca toda.

**Figura 7 : Arranjo físico por processo em uma biblioteca mostrando o caminho de apenas um cliente**



Fonte: Slack et al., 2009

O desafio nas decisões sobre arranjo físico funcional, ou por processo, é procurar arranjar a posição relativa e as áreas de cada setor, de forma a aproximar setores que tenham fluxo intenso entre si, para evitar deslocamentos desnecessários, de maneira a encaixar adequadamente o posicionamento e as áreas resultantes na área total disponível, respeitando uma série de restrições que possa haver, de proximidade ou distância entre setores, devido a motivos tecnológicos ou outros. Você logo nota que a resolução do problema de definir um arranjo físico funcional pode tornar-se bastante complexa, com múltiplos objetivos a atingir, sujeita a muitas restrições. Mais adiante neste capítulo, são descritos algumas técnicas e um processo ilustrativo para definir um arranjo físico funcional. Arranjos físicos

funcionais são bastante comuns de ser encontrados e, de acordo com as características listadas, adaptam-se melhor a operações que lidam com grande variedade de produtos, com os resultantes múltiplos roteiros que os fluxos processados podem percorrer. As fases do processo de agregação de valor são desconexas entre si. Saindo de um processo, o fluxo pode, numa situação de arranjo funcional puro, ir a qualquer outro.

### 1.4.3 Arranjo Físico Por Produto ou em Linha

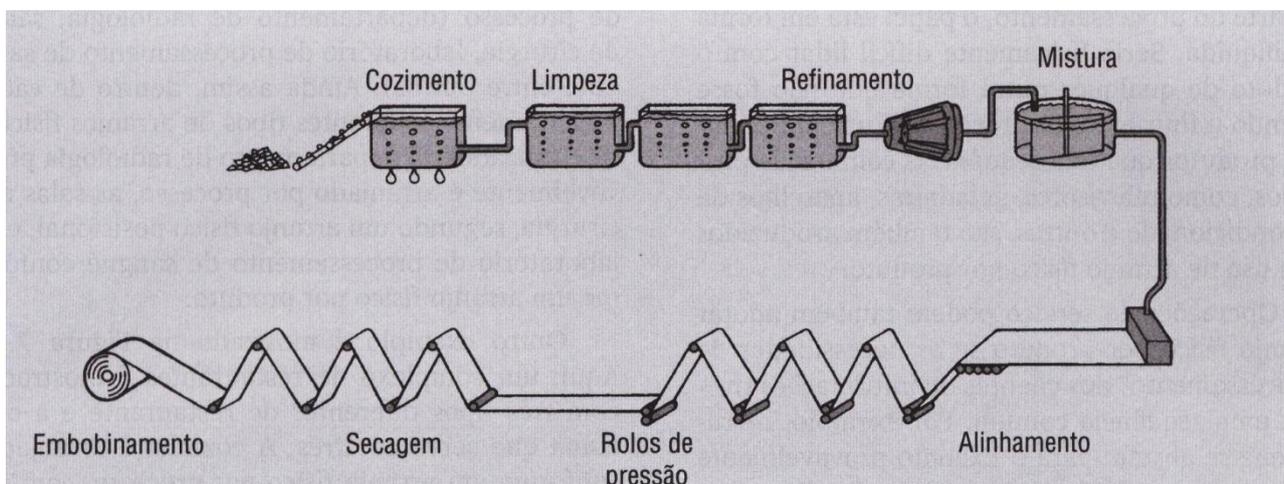
O arranjo físico por produto é usado quando se requer uma sequência linear de operações para fabricar o produto ou prestar o serviço; é, não obstante, uma forma de disposição muito mais comum na manufatura que na prestação de serviços. Cada centro de trabalho se torna responsável por uma parte especializada do produto ou serviço, sendo o fluxo de pessoas ou materiais balanceado por meio dos vários centros de forma a se obter uma determinada taxa de produção ou de atendimento.

Dentre as características fundamentais dos arranjos físicos por produto, contam-se as seguintes:

- é bastante adequado a produtos com alto grau de padronização, com pouca ou nenhuma diversificação, produzidos em grandes quantidades e de forma contínua;
- o fluxo de materiais pelo sistema é totalmente previsível, abrindo possibilidades para o manuseio e transporte automáticos de material, o que ocorre com frequência;
- o sistema pode se ajustar a diversas taxas de produção, embora trabalhar com produções baixas não seja conveniente, pois os investimentos em capital são altos, devido à presença de equipamentos altamente especializados e especialmente projetados para altos volumes, acarretando altos custos fixos e comparativamente baixos custos unitários de mão-de-obra e materiais.

Conforme mostrado acima, só valerá a pena arranjar os recursos segundo a sequência de etapas de um processo se ela é percorrida por um grande volume de fluxo. Ou seja, o arranjo físico por produto é mais adequado a operações que processam grandes volumes de fluxo que percorrem uma sequência muito similar: empresas que produzem um ou poucos produtos em altos volumes, ou que atendam a grandes volumes de clientes que passam por uma sequência comum de etapas no processo de atendimento. Exemplos também são abundantes: linhas de montagem de veículos, aparelhos eletrônicos, como impressoras, televisores, indústrias de processo, como as indústrias químicas e petroquímicas, de papel (Ver Figura 8), de aço, entre numerosas outras.

**Figura 8: Sequencia de processos na manufatura de papel**



Fonte: Slack et al., 2009

É comum que operações que produzam altos volumes de um ou poucos produtos estejam na verdade produzindo matérias-primas, muitas vezes produtos sem diferenciação de marca (aço, alumínio, papel,

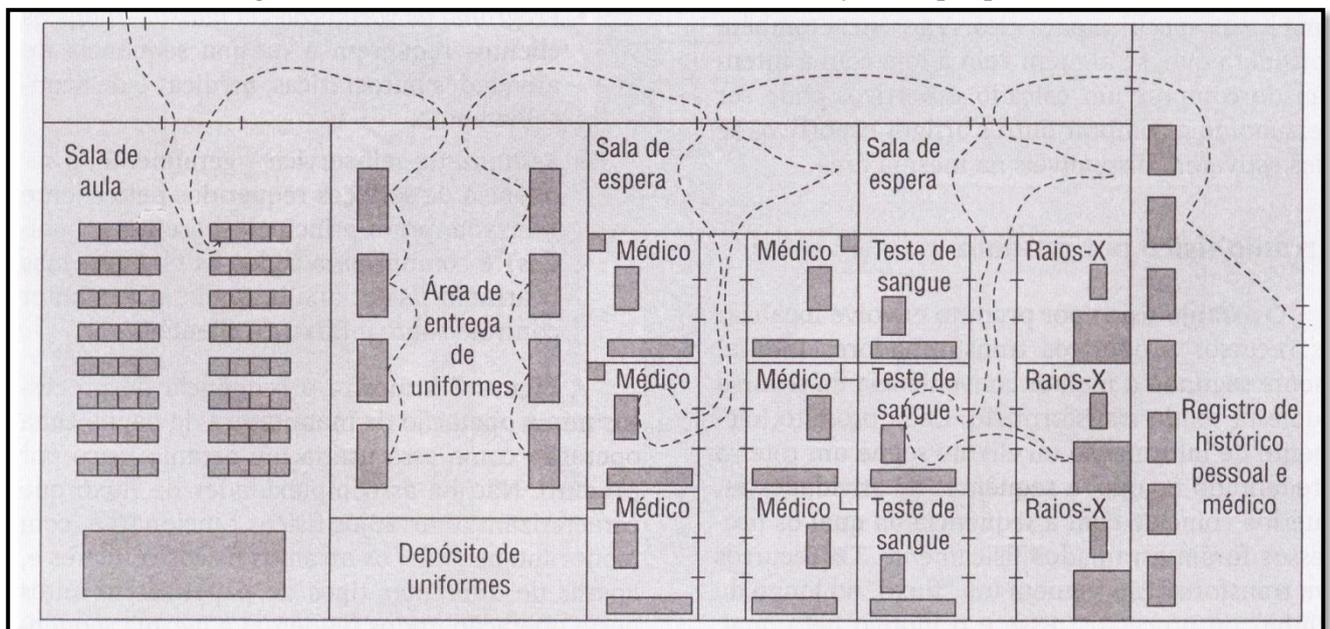
vidro plano, entre outros). Produtos sem diferenciação são às vezes chamados commodities e pela não-diferenciação de especificação ou marca encontram no preço seu principal fator de concorrência, o que faz com que os níveis de custos internos operacionais tenham de ser baixos para que os níveis desejados de margens aconteçam. Isso, de certa forma, é coerente com os arranjos físicos em linha (ou por produto), porque esse é o arranjo cujo fluxo ocorre com eficiência máxima.

Numa linha de montagem, por exemplo, as unidades montadas passam, de uma em uma, de uma etapa do processo a outra (as etapas, em geral, encontram-se lado a lado), num ritmo pré-estabelecido, de forma que sempre haja alguém agregando valor ao produto. Isso não ocorre, por exemplo, no arranjo físico funcional, em que, além do tempo de não-agregação de valor gasto no transporte do produto entre etapas, é frequente que um bom tempo seja gasto pelos produtos que aguardam processamento em filas.

O que está sendo descrito aqui é que nos arranjos físicos por produto ou em linha há certo nível de conexão entre as diferentes etapas de um processo agregador de valor. Essa conexão é alta em linhas de montagem, mas chega a seu máximo em operações que trabalham com processo em fluxo contínuo.

Operações de serviço podem também adotar arranjo físico por produto se as necessidades de "processamento" dos clientes ou informações tiverem uma sequência comum. Por exemplo, recrutas que se alistam para o Exército provavelmente serão "processados" num programa de alistamento organizado segundo um arranjo físico por produto. A Figura 9 mostra o arranjo físico de uma unidade de alistamento do Exército.

Figura 9: Centro de alistamento militar usando arranjo físico por produto



Fonte: Slack et al., 2009

Arranjo Físico Por Produto X Arranjo Físico Por Processo

Um quadro comparativo entre o Arranjo Físico Por Produto e o Arranjo Físico Por Processo pode ser visto na Figura 10, abaixo.

**Figura 10: Comparação entre o Arranjo Físico Por Produto e o Arranjo Físico Por Processo**

	<b>Arranjo físico por processo</b>	<b>Arranjo físico por produto</b>
Lógica	Recursos agrupados por função	Recursos arranjados seqüencialmente
Tipo de processo	Por tarefa Por lote ou batelada	Linha (manual ou automática) Fluxo contínuo
Fluxo processado	Intermitente, variável	Contínuo
Volumes por produto	Baixos	Altos
Variedade de produtos	Alta	Baixa
Decisão de arranjo físico	Localização dos recursos	Balanceamento de linhas
Estoque em processo	Alto	Baixo
Sincronização entre etapas	Difícil	Fácil
Identificação de gargalos	Mais difícil	Mais fácil
Distâncias percorridas	Longas	Curtas
% de tempo agregando valor	Baixa	Alta
Espaço requerido	Grande	Pequeno
Natureza geral dos recursos	Mais polivalentes	Dedicados
Custos com manuseio de materiais	Mais altos	Mais baixos
Critério competitivo priorizado	Flexibilidade	Custo, velocidade

**Fonte: Corrêa e Corrêa (2011)**

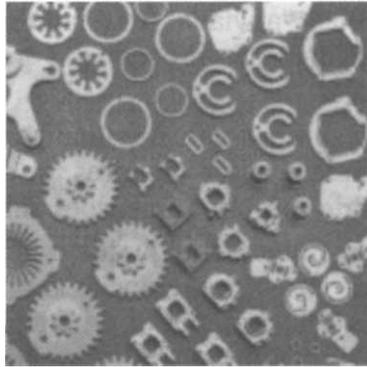
É fácil notar que há pontos fortes e fracos de ambos os tipos de arranjo físico analisados até agora. Em geral, as forças de um são as fraquezas do outro. Uma tentativa de conciliar as forças dos dois é o arranjo físico celular, por muitos, por isso mesmo, considerado um tipo híbrido, que se encontra numa posição intermediária, buscando capitalizar as forças dos arranjos físicos por produto e por processo.

#### **1.4.4 Arranjo Físico Celular**

O arranjo físico celular é aquele em que os recursos transformados, entrando na operação, são pré-selecionados (ou pré-selecionam-se a si próprios) para movimentar-se para uma parte específica da operação (ou célula) na qual todos os recursos transformadores necessários a atender a suas necessidades imediatas de processamento se encontram.

O arranjo físico celular tenta aumentar as eficiências do geralmente ineficiente arranjo físico funcional, tentando, entretanto, não perder muito de sua desejável flexibilidade. Baseado num conceito às vezes chamado de tecnologia de grupo, recursos não similares são agrupados de forma que com suficiência consigam processar um grupo de itens que requeiram similares etapas de processamento. A célula em si pode ser arranjada segundo um arranjo físico funcional ou por produto (veja seção arranjo por produto). Depois de serem processados na célula, os recursos transformados podem prosseguir para outra célula. De fato, o arranjo físico celular é uma tentativa de trazer alguma ordem para a complexidade de fluxo que caracteriza o arranjo físico funcional. A Figura 11 mostra um grupo de peças com formatos similares.

Figura 11: Ilustração de grupo ou família de peças com formato e processo similares.



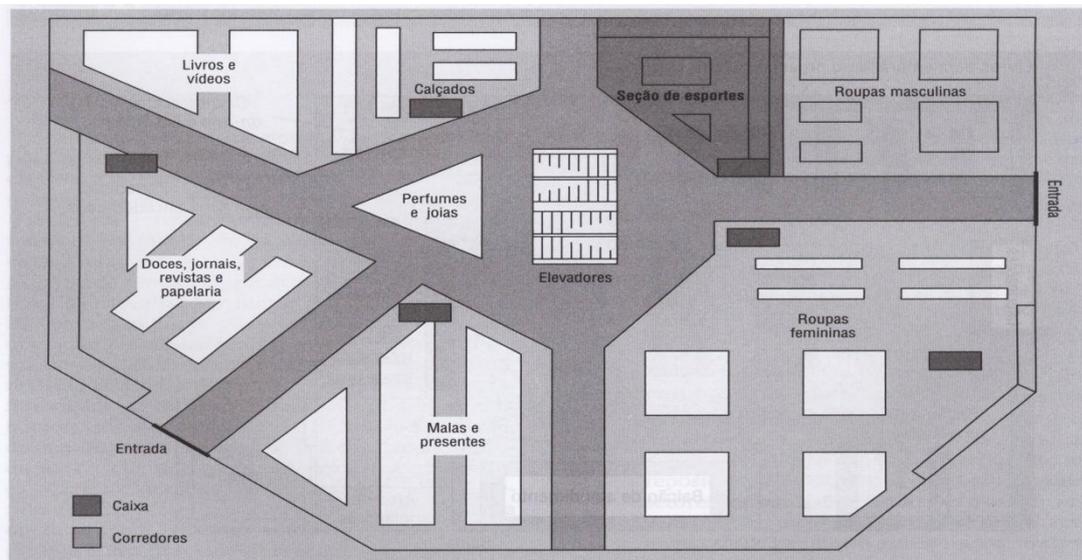
Fonte: Corrêa e Corrêa (2011)

Exemplos de arranjo físico celular incluem:

- Algumas empresas manufatureiras de componentes de computador - a manufatura e a montagem de alguns tipos de peças para computadores podem necessitar de alguma área dedicada à produção de peças para clientes em particular que tenham requisitos especiais como, por exemplo, níveis mais altos de qualidade.
- Área para produtos de lanches rápidos em supermercados - alguns clientes usam o supermercado apenas para comprar lanches, salgadinhos, refrigerantes, iogurte etc. para consumo, por exemplo, em seu horário de almoço. Estes, em geral, são localizados juntos, de forma que o cliente que está apenas comprando seu almoço não necessite procurá-lo pelo supermercado todo.
- Maternidade em um hospital - clientes que necessitam de atendimento em maternidade formam um grupo bem definido que pode ser tratado junto; eles têm uma probabilidade pequena de necessitar de cuidados de outras partes do hospital ao mesmo tempo em que requerem cuidados específicos de maternidade.

Embora a ideia de arranjo físico celular seja em geral associada à operação de manufatura, os mesmos princípios podem ser, e são, usados em serviços, como mostrado na figura 12.

Figura 12: Piso térreo de loja de departamentos mostrando a loja dentro da loja ou célula de artigos



Fonte: Slack et al., 2009

Na Figura 8 acima, o piso térreo de uma loja de departamentos contém displays de vários tipos de produtos em vários pontos da loja. Dessa forma, o arranjo físico predominante da loja é o arranjo físico funcional. Cada área pode ser considerada como um processo separado dedicado a vender um tipo particular de produto - sapatos, roupas, livros e assim por diante. A exceção é o setor de esportes. Essa é uma loja-dentro-da-loja dedicada a vender vários tipos de produto com um tema comum: o esporte. Por exemplo, ela disporá de roupas esportivas, calçados esportivos, sacolas esportivas, revistas, livros e vídeos sobre esportes, equipamentos e artigos esportivos para presentes e, talvez, bebidas energéticas.

Dentro da "célula", há vários "processos", que também se encontram em outros pontos da loja. Eles foram localizados dentro da "célula", não porque sejam produtos similares (calçados, roupas e livros normalmente não seriam localizados juntos), mas porque são necessários para satisfazer às necessidades de um tipo particular de consumidor. A gerência da loja calcula que número suficiente de consumidores vem à loja para comprar especialmente "artigos esportivos" (mais do que sapatos, roupas e assim por diante) para que seja compensador dedicar uma área específica para eles. A gerência também considera que, se alguém vem à loja com a intenção de comprar um calçado esportivo, pode ser persuadido a comprar outros artigos esportivos se eles estiverem disponíveis na mesma área.

Um arranjo físico celular é desenvolvido em etapas:

1. identificar famílias de itens produzidos que tenham, agregadamente, volume suficiente e similar conjunto de recursos para serem processados - deve-se estar preparado para que "sobre" determinados itens de grande variedade que não conseguem ser colocados em nenhuma célula -, estes continuarão, em geral, a ser processados num setor com arranjo funcional;
2. identificar e agrupar recursos (máquinas, pessoas) de forma que consigam, com suficiência, processar as famílias de itens identificadas, definindo células;
3. para cada célula, arranjar os recursos, usando os princípios gerais do arranjo por produto, estabelecendo uma pequena operação dentro da operação, de forma que a movimentação e os fluxos daquelas famílias identificadas em 1 sejam mais ordeiros, simples e ágeis;
4. localizar máquinas grandes ou que não possam ser divididas para fazerem parte de células específicas para próximo das células.

Os resultados são:

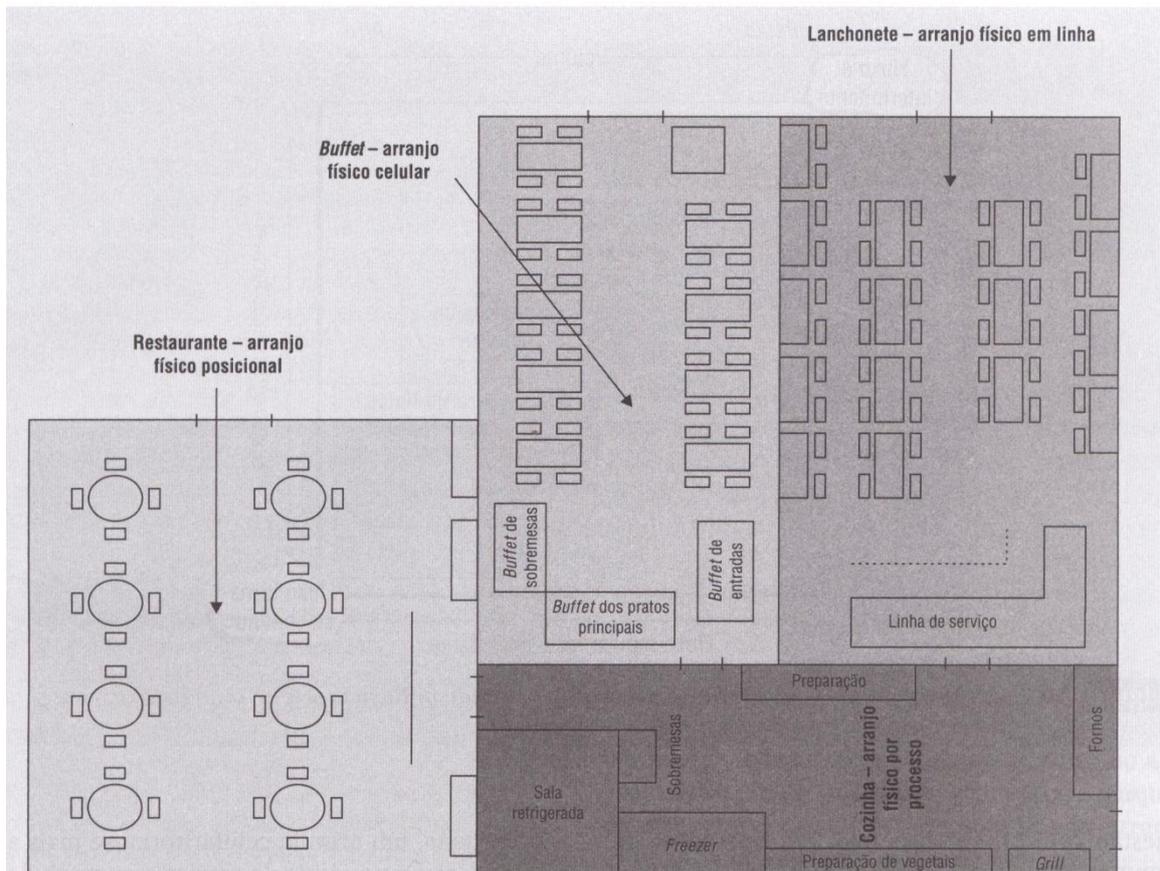
- não se perde flexibilidade, pois o mesmo conjunto original de itens continua sendo processado;
- ganham-se velocidade e eficiência de fluxo, pois os recursos da particular célula estão próximos numa "pequena operação";
- as distâncias percorridas pelos fluxos dentro das células são muito menores;
- simplificam-se os fluxos no restante da operação, que fica "aliviada" das famílias de itens que conseguem ser processadas pelas células estabelecidas;
- tempos de preparação dos equipamentos nas células tendem a ser menores, já que processam itens de forma e dimensões similares;
- melhora-se a qualidade, já que o grupo de funcionários a cargo de gerenciar e operar os recursos das células tende a desenvolver mais a sensação de "propriedade" e responsabilidade por uma família inteira de itens e não apenas por uma etapa produtiva;
- melhor controle de produção, pois cada célula é focalizada num relativamente pequeno grupo de itens. Normalmente, iniciativas de formação de semi-autonomia dos grupos de funcionários responsáveis pela célula acompanham as iniciativas de celularização.

## 1.5 Arranjos Físicos Mistos

Muitas operações ou projetam arranjos físicos mistos, que combinam elementos de alguns ou todos os tipos básicos de arranjo físico, ou usam tipos básicos de arranjo físico de forma "pura" em diferentes partes da operação. Por exemplo, um hospital normalmente seria arranjado conforme os princípios do arranjo físico funcional - cada departamento representando um tipo particular de processo (departamento de radiologia, salas de cirurgia, laboratório de processamento de sangue, entre outros). Ainda assim, dentro de cada departamento, diferentes tipos de arranjos físicos são utilizados. O departamento de radiologia provavelmente é arranjado por processo, as salas de cirurgia, segundo um arranjo físico posicional, e o laboratório de processamento de sangue conforme um arranjo físico por produto.

Outro exemplo é mostrado na Figura 13. Aqui, um complexo de restaurantes é mostrado com três tipos diferentes de restaurante e a cozinha que serve aos três. A cozinha é arranjada conforme um arranjo físico por processo, com os processos (armazenamento de ingredientes, preparação da comida, processos de cozimento etc.) agrupados. O restaurante tradicional é arranjado segundo um arranjo físico posicional. Os clientes ficam em suas mesas enquanto a comida é trazida (e às vezes até preparada) à mesa. O restaurante do tipo *buffet* é arranjado de forma celular, com cada área de *buffet* tendo todos os processos (pratos) necessários para servir os clientes em suas necessidades de entrada, prato principal ou sobremesa. Finalmente, num restaurante do tipo bandejão (como os restaurantes por quilo), todos os clientes passam pelo mesmo roteiro quando estão servindo-se. Eles podem não se servir de todos os pratos disponíveis, mas mover-se-ão na mesma sequência de processos.

Figura 13: Complexo de restaurante com os 4 tipos básicos de arranjo físico



Fonte: Slack et al., 2009

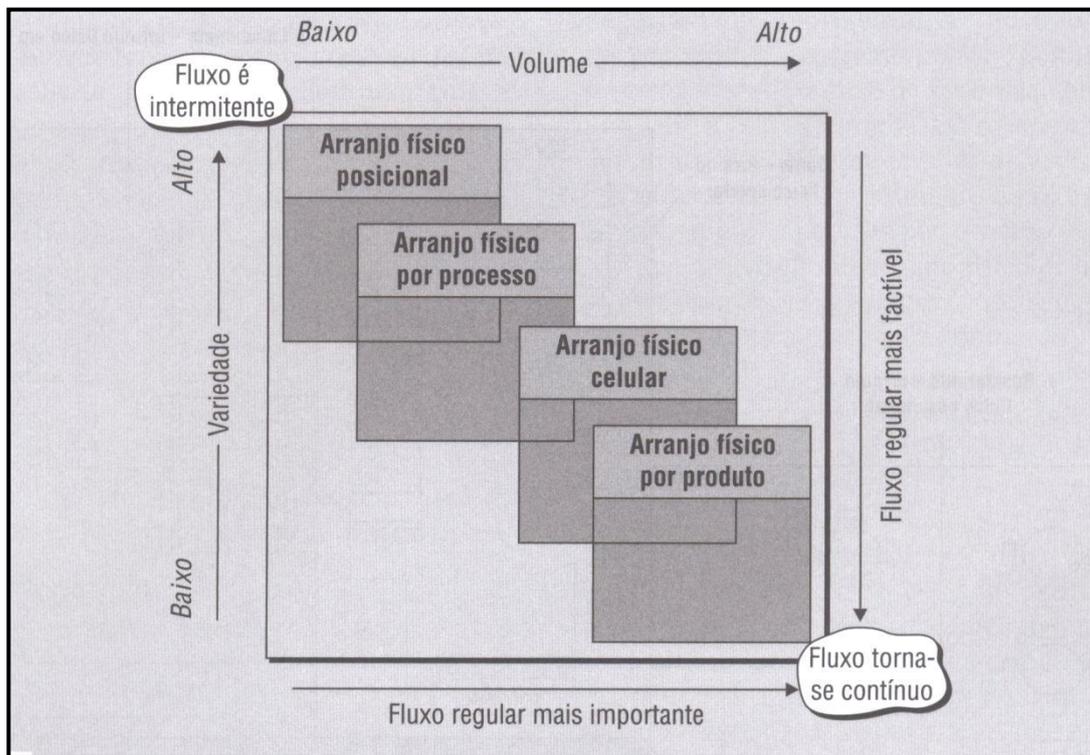
### 1.6 Volume-variedade e tipo de arranjo físico

A importância do fluxo para uma operação dependerá de suas características de volume e variedade. Quando o volume é baixo e a variedade é relativamente alta, o "fluxo" não é uma questão central. Por exemplo, em operações de manufatura de satélites de comunicação, a maior probabilidade é que um arranjo físico posicional seja utilizado porque cada produto é diferente dos outros e porque produtos "fluem" pela operação muito pouco frequentemente. Sob essas condições, simplesmente não vale a pena arranjar os recursos de forma a minimizar o fluxo por meio da operação.

Com volumes maiores e variedade menor, o fluxo dos recursos transformados torna-se uma questão mais importante. Se a variedade ainda é alta, entretanto, um arranjo definido completamente por fluxo torna-se difícil porque produtos ou clientes terão diferentes padrões de fluxo. Por exemplo, a biblioteca da Figura 7 arranjará seus diferentes tipos de livros e seus outros serviços parcialmente para minimizar a distância que seus clientes terão de percorrer, porque as necessidades de seus clientes variam; entretanto, a biblioteca poderá ser arranjada, quando muito, para satisfazer à maioria de seus clientes, quanto à minimização das distâncias (possivelmente prejudicando uma minoria).

Quando a variedade de produtos e serviços se reduz de forma que uma "categoria" de clientes com necessidades similares possa ser identificada, mas a variedade ainda não é pequena, um arranjo celular torna-se mais adequado, como na célula de artigos esportivos da Figura 12. Quando a variedade de produtos e serviços é relativamente pequena, o fluxo de materiais, informações ou clientes pode ser regularizado e um arranjo físico por produto pode tornar-se mais adequado, como no caso de uma montadora de veículos (veja a Figura 14).

Figura 14: Posição do processo no contínuo volume - variedade influencia seu arranjo físico e, conseqüentemente, o fluxo dos recursos transformados



Fonte: Slack et al., 2009

### 1.7 Selecionando um tipo de arranjo físico

As características de volume e variedade de uma operação vão reduzir a escolha, grosso modo, a uma ou duas opções. A decisão sobre qual arranjo específico escolher é influenciada por um entendimento correto das vantagens e desvantagens de cada um. A Tabela 3 mostra algumas das vantagens e desvantagens mais significativas associadas a cada tipo básico de arranjo físico. Deve ser enfatizado, entretanto, que o tipo de operação vai influenciar sua importância relativa. Por exemplo, uma operação de manufatura de televisores pode considerar as características de baixo custo do arranjo físico por produto interessante, e um parque de diversões pode adotar o mesmo tipo de arranjo predominantemente pela maneira com que ele "controla" o fluxo de clientes.

Tabela 3: Vantagens e desvantagens dos tipos básicos de arranjo físico

	Vantagens	Desvantagens
<b>Posicional</b>	Flexibilidade muito alta de <i>mix</i> e produto Produto ou cliente não movido ou perturbado Alta variedade de tarefas para a mão-de-obra	Custos unitários muito altos Programação de espaço ou atividades pode ser complexa Pode significar muita movimentação de equipamentos e mão-de-obra
<b>Funcional</b>	Alta flexibilidade de <i>mix</i> e produto Relativamente robusto em caso de interrupção de etapas Supervisão de equipamento e instalações relativamente fácil	Baixa utilização de recursos Pode ter alto estoque em processo ou filas de clientes Fluxo complexo pode ser difícil de controlar
<b>Celular</b>	Pode dar um bom equilíbrio entre custo e flexibilidade para operações com variedade relativamente alta Atravessamento rápido Trabalho em grupo pode resultar em melhor motivação	Pode ser caro reconfigurar o arranjo físico atual Pode requerer capacidade adicional Pode reduzir níveis de utilização de recursos
<b>Produto</b>	Baixos custos unitários para altos volumes Dá oportunidade para especialização de equipamento Movimentação conveniente de clientes e materiais	Pode ter baixa flexibilidade de <i>mix</i> Não muito robusto contra interrupções Trabalho pode ser repetitivo

Fonte: Slack et al., 2009

De todas as características dos vários tipos básicos de arranjo físico, talvez a mais significativa seja a implicação, para os custos unitários, da escolha do tipo de arranjo físico. Isso pode ser melhor entendido com base na distinção entre as repercussões sobre os elementos de custo fixo e variável ao se adotarem os diversos tipos básicos de arranjo físico. Para qualquer produto ou serviço, o custo fixo de se estabelecer um arranjo físico posicional é relativamente baixo quando comparado com qualquer outra forma de se produzirem os mesmos produtos ou serviços.

Entretanto, os custos variáveis de se produzir cada produto ou serviço particular é relativamente alto quando comparado a qualquer outro tipo de arranjo físico. Os custos fixos tendem, então, a aumentar

à medida que se migra do arranjo posicional, passando pelos arranjos funcional e celular, para o arranjo por produto. Os custos variáveis por produto ou serviço, por sua vez, tendem a decrescer. Os custos totais para cada tipo básico de arranjo físico dependerão dos volumes de produtos ou serviços produzidos e são mostrados na Figura 15 (a). Isso parece implicar que para cada volume haveria um tipo básico de arranjo físico de custo mínimo. Entretanto, na prática, as análises de custo para a seleção do arranjo físico raramente são tão claras. O custo exato de operar o arranjo físico é difícil de prever e provavelmente dependerá de fatores numerosos e difíceis de quantificar. Mais do que usar linhas para representar os custos que variam conforme aumentam os volumes produzidos, o uso de bandas largas, dentro das quais, com maior probabilidade, os custos reais vão cair, é provavelmente a abordagem mais adequada (veja Figura 15 (b)). A discriminação entre os diferentes tipos de arranjo físico é agora muito menos clara. Há faixas de volumes para as quais qualquer dos dois ou três tipos de arranjo envolvidos poderia prover os custos de operação mínimos. Quanto menor a certeza a respeito dos custos, mais largas serão as "bandas" de custos e menos claras serão as escolhas. Os custos prováveis de se adotar um tipo básico de arranjo físico devem ser entendidos com uma perspectiva mais ampla, de vantagens e desvantagens, mostrado na Tabela 3.

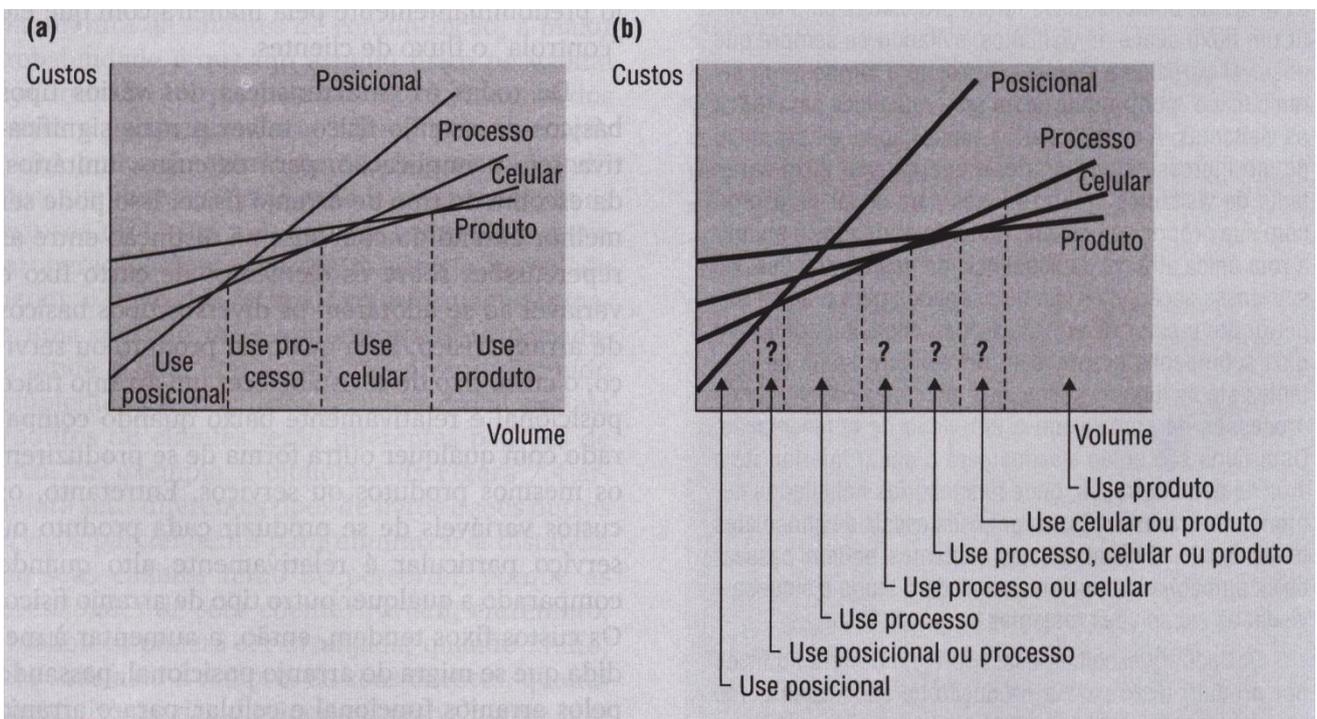


Figura 15: (a) Os tipos básicos de arranjo físico têm características diferentes de custos fixos e variáveis que parecem determinar qual usar. (b) Na prática, a incerteza sobre os custos fixos e variáveis exatos de cada tipo de arranjo físico significa que raramente a decisão pode basear-se exclusivamente na consideração de custo.

## QUESTÕES

1. Explique o que é arranjo físico
2. Quais as implicações de uma decisão errada de arranjo físico?
3. Além da relação com os objetivos estratégicos de uma operação, o arranjo físico está relacionado com alguns outros objetivos, que são mais gerais, mas relevantes a todas as operações, tais como segurança, fluxo de materiais, funcionários, prazo e espaço. Explique cada um deles.
4. Os tipos de arranjos físicos estão, de certa maneira, relacionados aos tipos de processo, considerando o binômio volume-variedade. Dê exemplos dessa relação, tomando como referência os processos de fabricação.
5. Nos casos em que há mais de um tipo de processo possível para determinado arranjo físico, em que se baseará a tomada de decisão ou escolha do tipo de arranjo físico?