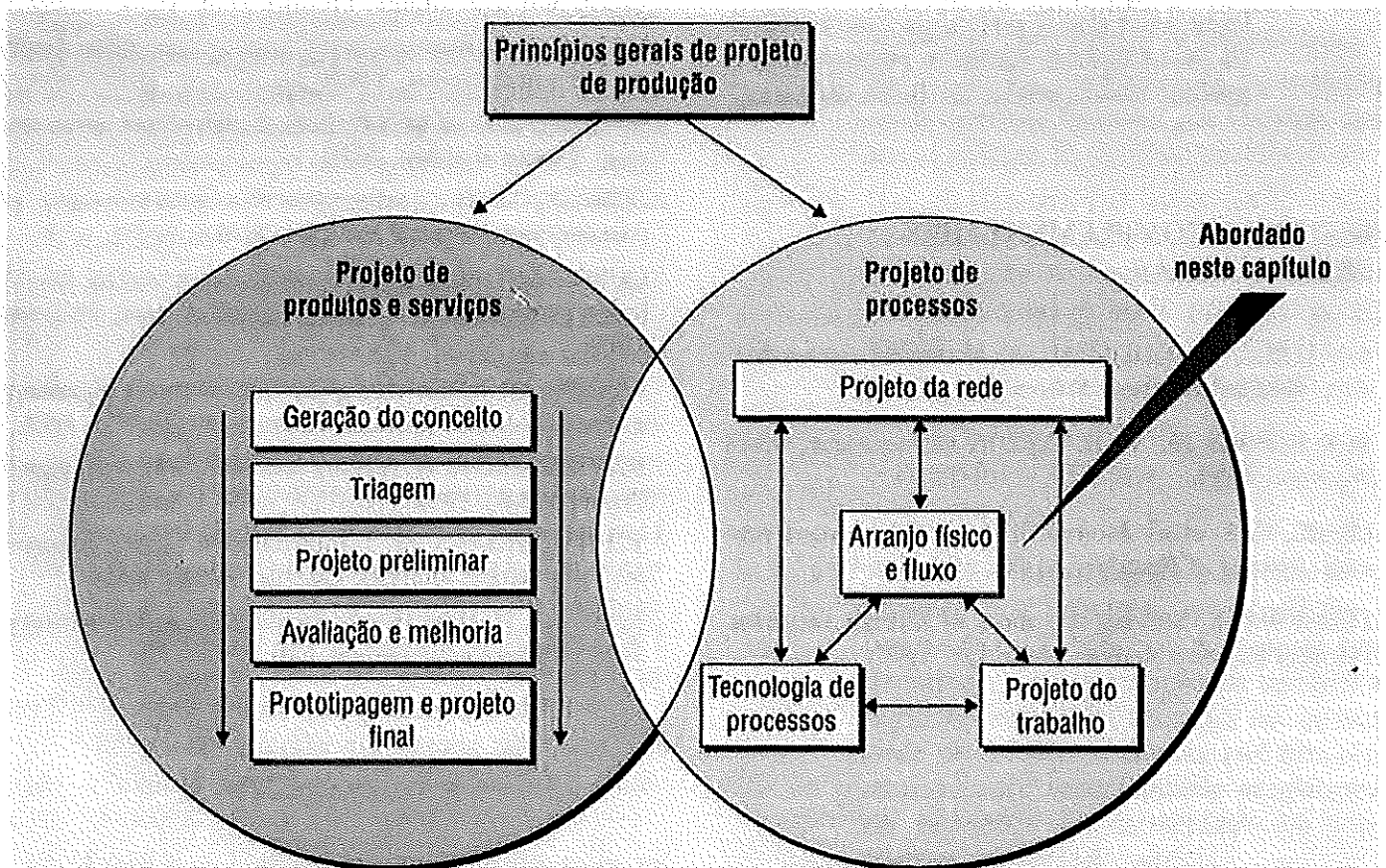


## Arranjo Físico e Fluxo

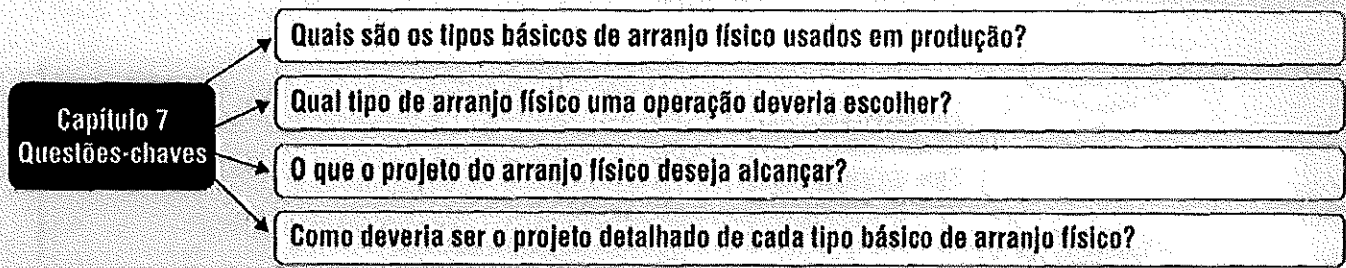
### INTRODUÇÃO

O arranjo físico de uma operação produtiva preocupa-se com o posicionamento físico dos recursos de transformação. Colocado de forma simples, definir o arranjo físico é decidir onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da produção. O arranjo físico é uma das características mais evidentes de uma operação produtiva porque determina sua "forma" e aparência. É aquilo que a maioria de nós notaria em primeiro lugar quando entrasse pela primeira

vez em uma unidade produtiva. Também determina a maneira segundo a qual os recursos transformados – materiais, informação e clientes – fluem pela operação. Mudanças relativamente pequenas na localização de uma máquina numa fábrica ou dos produtos em um supermercado ou a mudança de salas em um centro esportivo podem afetar o fluxo de materiais e pessoas por meio da operação. Isso, por sua vez, pode afetar os custos e a eficácia geral da produção. A Figura 7.1 mostra o papel do arranjo físico no modelo geral de projeto em produção.



**Figura 7.1** Atividades de projeto em administração de produção abordadas neste capítulo.



## PROCEDIMENTO DE ARRANJO FÍSICO

Há algumas razões práticas pelas quais as decisões de arranjo físico são importantes na maioria dos tipos de produção:

- Mudança de arranjo físico é frequentemente uma atividade difícil e de longa duração por causa das dimensões físicas dos recursos de transformação movidos.
- O rearranjo físico de uma operação existente pode interromper seu funcionamento suave, levando à insatisfação do cliente ou a perdas na produção.
- Se o arranjo físico está errado, pode levar a padrões de fluxo longos ou confusos, estoque de materiais, filas de clientes formando-se ao longo da operação, inconveniências para os clientes, tempos de processamento longos, operações inflexíveis, fluxos imprevisíveis e altos custos.

De fato, há uma dupla pressão para a decisão sobre o arranjo físico. A mudança de arranjo físico pode ser de execução difícil e cara e, portanto, os gerentes de produção podem relutar em fazê-la com frequência. Ao mesmo tempo, eles não podem errar em sua decisão. A consequência de qualquer mau julgamento na definição do arranjo físico terá efeitos de longo prazo consideráveis na operação.

Projetar o arranjo físico de uma operação produtiva, assim como qualquer atividade de projeto, deve iniciar-se com os objetivos estratégicos da produção. Entretanto, isso é apenas o ponto de partida do que é um processo de múltiplos estágios que leva ao arranjo físico final de uma operação (veja Figura 7.2).

## Selecione o tipo de processo

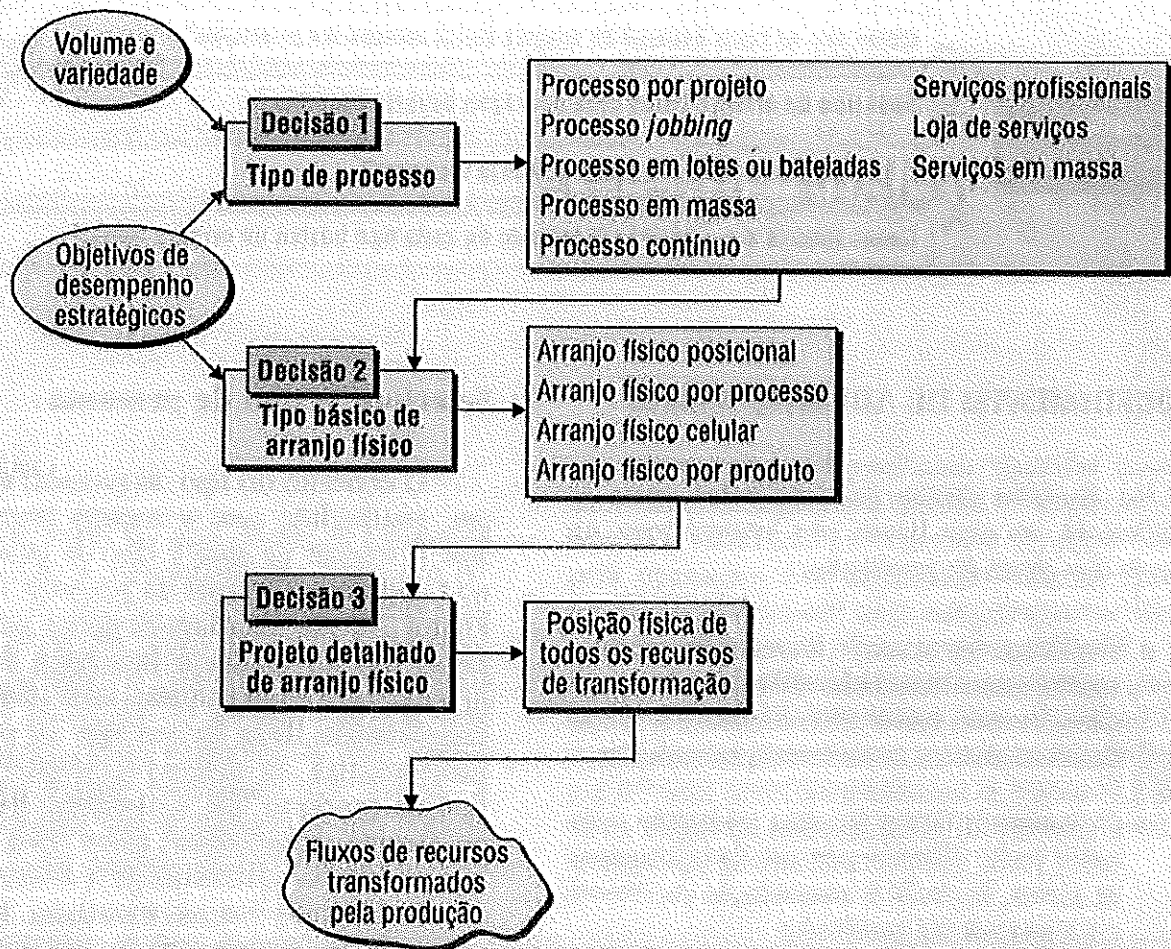
O conceito do *tipo de processo* é, muitas vezes, confundido com o arranjo físico. Descrevemos a decisão de qual o tipo de processo adotar no Capítulo 4. Os tipos de processo ilustrados na Figura 7.2 são abordagens gerais para a organização das atividades e processos de produção. *Arranjo físico* é um conceito mais restrito, mas é a manifestação física de um tipo de processo. É a característica de volume-variedade 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.

## Selecione o arranjo físico básico

Depois que o tipo de processo foi selecionado, o tipo básico de arranjo físico deve ser definido. O tipo básico de arranjo físico é a forma geral do arranjo de recursos produtivos da operação.

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

- arranjo físico posicional;
- arranjo físico por processo;
- arranjo físico celular;
- arranjo físico por produto.



**Figura 7.2** A decisão de arranjo físico.

A relação entre tipos de processo e tipos básicos de arranjo físico não é totalmente determinística. Um tipo de processo não necessariamente implica tipo básico de arranjo físico em particular. Como a Tabela 7.1 indica, cada tipo de processo pode adotar diferentes tipos básicos de arranjo físico.

### Selecione o projeto detalhado de arranjo físico

Embora a escolha do tipo básico de arranjo físico governe a maneira geral segundo a qual os recursos vão ser arranjados uns em relação aos outros, ela não define precisamente a posição exata de cada elemento da operação. O estágio final na atividade de definição do arranjo físico é a definição do projeto detalhado de posicionamento físico dos recursos. Há muitas técnicas que

podem ajudar nesse estágio, algumas das quais são descritas posteriormente neste capítulo.

## TIPOS BÁSICOS DE ARRANJO FÍSICO

### Arranjo físico posicional

Arranjo físico posicional (também conhecido como arranjo físico de posição fixa) é, de certa forma, uma contradição em termos, já que os recursos transformados não se movem entre os recursos transformadores. Em vez de materiais, informações ou clientes fluírem por uma operação, quem sofre o processamento fica estacionário, enquanto equipamento, maquinário, instalações e pessoas movem-se na medida do necessário. A razão para isso pode ser que ou o produto ou o sujeito do serviço seja muito grande para ser movido de forma conveniente, ou podem ser (ou estar em um estado) muito delicados para serem

Tabela 7.1 Relação entre tipos de processo e tipos básicos de arranjo físico.

Tipos de processo em manufatura	Tipos básicos de arranjo físico	Tipos de processo de serviço
Processo por projeto	Arranjo físico posicional	Serviços profissionais
Processo tipo <i>jobbing</i>	Arranjo físico por processo	Loja de serviços
Processo tipo <i>batch</i>	Arranjo físico celular	Serviços de massa
Processo em massa	Arranjo físico por produto	
Processo contínuo		

movidos, ou ainda podem objetar-se a ser movidos, por exemplo:

- *Construção de uma rodovia* – produto é muito grande para ser movido.
- *Cirurgia de coração* – pacientes estão em um estado muito delicado para serem movidos.
- *Restaurante de alta classe* – clientes objetariam em mover-se para onde a comida é preparada.
- *Estaleiro* – produto muito grande para mover-se.
- *Manutenção de computador de grande porte* – produto muito grande e provavelmente também muito delicado para ser movido e o cliente poderia negar-se a trazê-lo para manutenção.

Um canteiro de obra é tipicamente um exemplo de arranjo físico posicional, já que existe uma quantidade de espaço limitada que deve ser alocada aos vários recursos transformadores. O principal problema em projetar o arranjo físico será então alocar áreas do canteiro aos vários subcontratados de forma que:

- eles tenham suficiente espaço para executar suas atividades;
- eles possam receber e armazenar seus suprimentos;

- todos os subcontratados possam ter acesso à área do canteiro onde estejam trabalhando sem interferir na movimentação dos recursos dos outros subcontratados;
- a movimentação total dos subcontratados, de seus veículos e de materiais seja minimizada tanto quanto possível.

Na prática, a eficácia de um arranjo físico posicional como este está ligada à programação de acesso ao canteiro e à confiabilidade das entregas. Na maioria dos canteiros, não há espaço para alocar áreas permanentes a todos os subcontratados que porventura venham a necessitar de acesso à obra. Apenas os maiores, mais importantes ou aqueles subcontratados de prazo mais longo provavelmente ganharão espaço permanente (ao longo da duração da obra). Outros subcontratados terão áreas alocadas temporariamente. Isso deixa o arranjo físico sujeito a alterações no planejamento e controle do projeto (algumas das questões são discutidas em detalhes no Capítulo 16).

### Arranjo físico por processo

O arranjo físico por processo é assim chamado porque as necessidades e conveniências dos recursos transformadores que constituem o processo na operação dominam a decisão sobre o arranjo físico. No arranjo por processo, processos similares (ou processos com necessidades simila-

res) são localizados juntos um do outro. A razão pode ser que seja conveniente para a operação mantê-los juntos, ou que dessa forma a utilização dos recursos transformadores seja beneficiada. Isso significa que, quando produtos, informações ou clientes fluírem pela operação, eles percorrerão um roteiro de processo a processo, de acordo com suas necessidades. Diferentes produtos ou clientes terão diferentes necessidades e, portanto, percorrerão diferentes roteiros na operação. Por essa razão, o padrão de fluxo na operação poderá ser bastante complexo.

Exemplos de arranjo físico por processo incluem:

- *Hospital* – alguns processos (e.g.: aparelhos de raios-X e laboratórios) são necessários a um grande número de diferentes tipos de pacientes; alguns processos (e.g.: alas gerais) podem atingir altos níveis de utilização de recursos (leitos e equipe de atendimento).
- *Usinagem de peças utilizadas em motores de aviões* – alguns processos (e.g.: tratamento térmico) necessitam de instalações especiais (para exaustão de fumaça, por exemplo); alguns processos (e.g.: *machining centres*) requerem suporte comum de preparadores/operadores de máquina; alguns processos (e.g.: esmerilhadeiras) atingem altos níveis de utilização, pois todas as peças que requerem operações de esmerilhamento passam por uma única seção.
- *Supermercado* – alguns processos, como a área que dispõe de vegetais enlatados, oferecem maior facilidade na reposição dos produtos se mantidos agrupados. Alguns setores, como o da comida congelada, necessitam de tecnologia similar de armazenagem, em gabinetes refrigerados. Outros, como as áreas que dispõem de vegetais frescos, podem ser mantidos juntos, pois dessa forma podem tornar-se mais atraentes aos olhos do cliente.

#### Arranjo físico posicional na Alstom geradores de ciclo combinado<sup>1</sup>

A Alstom é um dos maiores fabricantes de máquinas de tração e geradores de energia. Uma área crescente em

seus negócios é a gestão de projeto, manufatura e construção de estações geradoras de eletricidade, turbinadas a gás com ciclo combinado. Um projeto típico como o ilustrado na Figura 7.3 é uma operação gigantesca, levando pelo menos três anos para ser executado. A maior parte do equipamento, muito grande e pesado, é feita sob encomenda e fabricada para atender a uma alta especificação e conformidade.

Quase todos os aspectos da construção de uma estação de energia envolvem arranjos físicos posicionais. Componentes e materiais brutos, como concreto e aço, são trazidos para o ponto de uso e são progressivamente incorporados ao trabalho. Gruas, maquinário de construção e todos os equipamentos especialistas necessários às tarefas são trazidos para o local, juntamente com funcionários habilitados e pessoal contratado que desenvolvem tarefas no projeto.

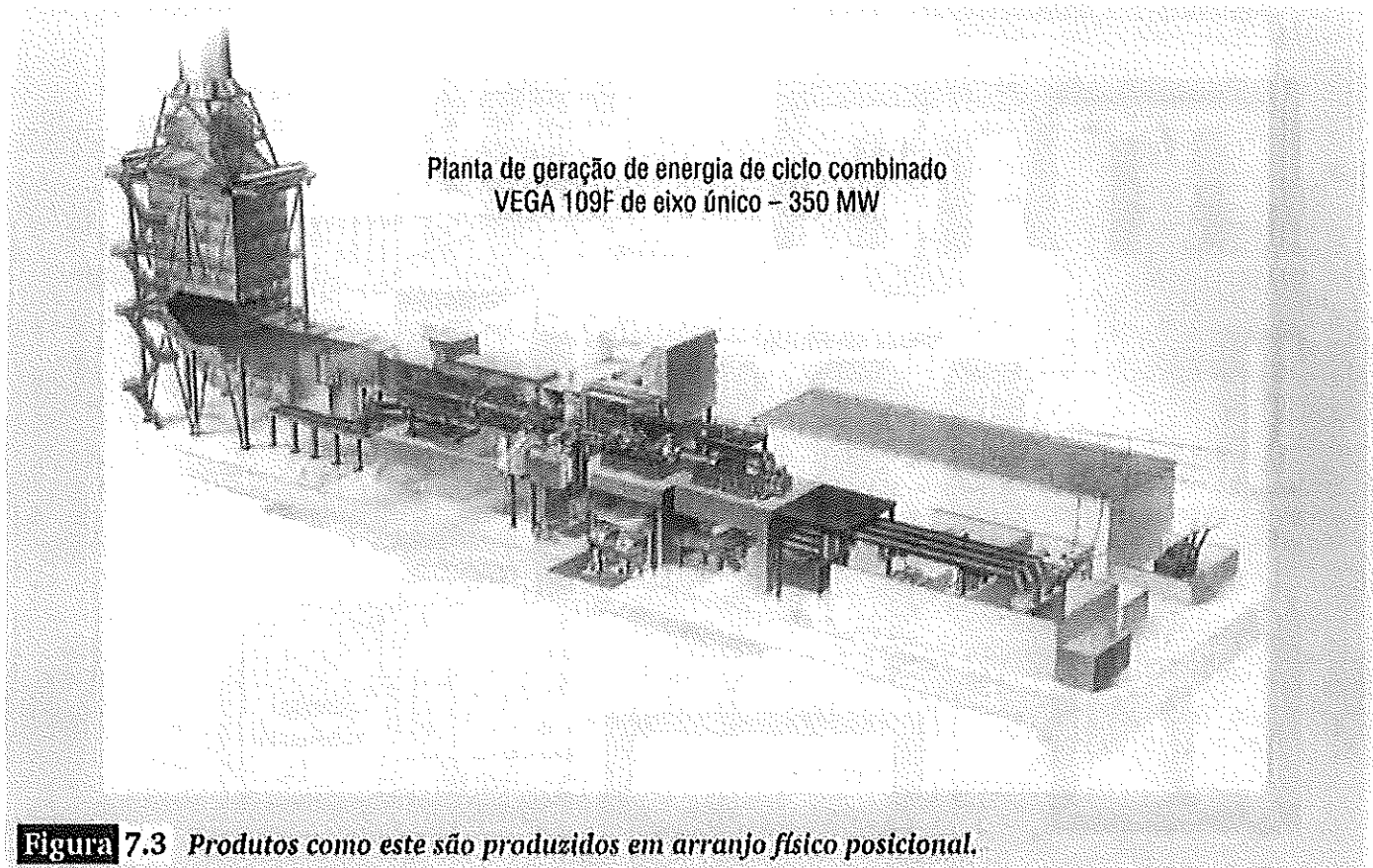
Uma vez que todo esse trabalho esteja terminado, os itens mecânicos e elétricos são entregues ao local, de acordo com uma programação preparada cuidadosamente. Alguns deles chegam como unidades completas, outros como módulos ou conjuntos de partes a serem construídas no local, segundo arranjo físico posicional. Por exemplo, uma parte da turbina de vapor é feita e montada na fábrica, também usando arranjo físico posicional, e então transportada como uma peça única para o local da estação. Uma abordagem parecida é usada para a montagem de um estator do gerador, que é construído na fábrica.

Há algum tempo, era normal que toda a turbina geradora fosse montada em um arranjo físico posicional na fábrica, e então desmontada e levada para o local da estação para remontagem. Isso ocorria porque muitas peças tinham que ser ajustadas para se encaixar perfeitamente e a pré-montagem era utilizada para garantir que tudo se encaixasse corretamente antes da entrega final. Agora, entretanto, melhorias no projeto e em tecnologias de manufatura propiciaram à empresa fabricar esses grandes componentes de forma muito mais precisa, permitindo que maior número de montagens possa ocorrer no local exato necessário na estação. Isso também ajudou a empresa a responder a pressões de mercado que exigem *lead times* menores e preços mais baixos.

#### Questões

1. Embora os produtos descritos neste quadro sejam montados no lugar usando arranjo físico posicional, eles não são exatamente de um só tipo ou modelo. A empresa precisa ter instalado muitos desses tipos de máquinas. Você acha que a natureza do arranjo físico para a instalação de um gerador é sempre a mesma? Caso contrário, quais os fatores que podem influenciar o arranjo físico em cada local?
2. Cada vez mais, peças desses produtos são montadas na fábrica e transportadas para a estação. Qual vantagem isso traz para a empresa?

1 Discussões com os funcionários da Alstom.



**Figura 7.3** Produtos como este são produzidos em arranjo físico posicional.

A Figura 7.4 mostra um arranjo físico por processo numa biblioteca de uma escola de administração de empresas. Os vários “processos” – livros de referência, mesa de informações, periódicos, e assim por diante – são localizados em partes diferentes da operação. O cliente fica livre para mover-se entre processos 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 de arranjo físico, como será visto adiante neste capítulo. O principal ponto a ser entendido agora é que alterando-se a localização dos vários processos na biblioteca alterar-se-á o padrão de fluxo de tráfego para a biblioteca toda.

### Arranjo físico celular

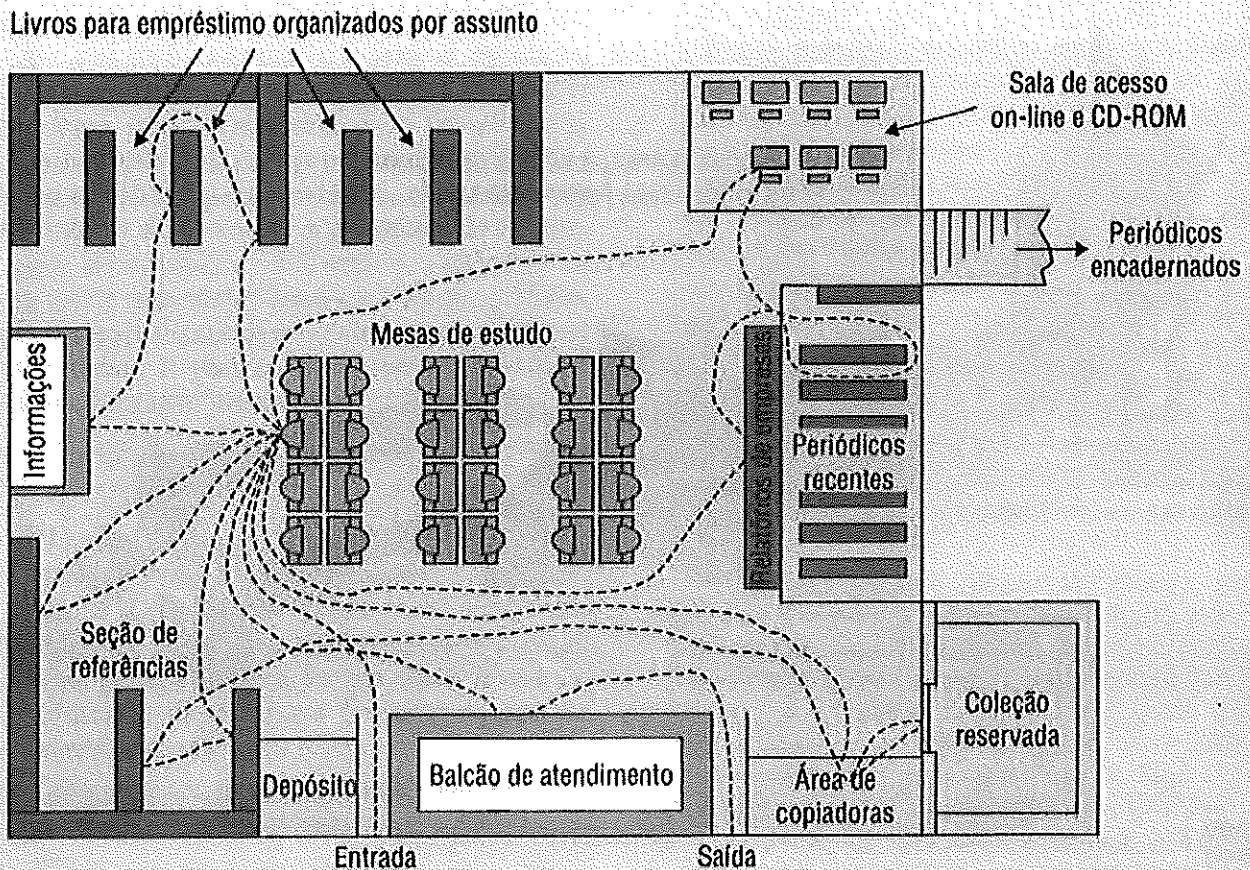
O arranjo físico celular é aquele em que os recursos transformados, entrando na operação,

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. A célula em si pode ser arranjada segundo um arranjo físico por processo ou por produto (veja a próxima seção).

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 por processo.

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.

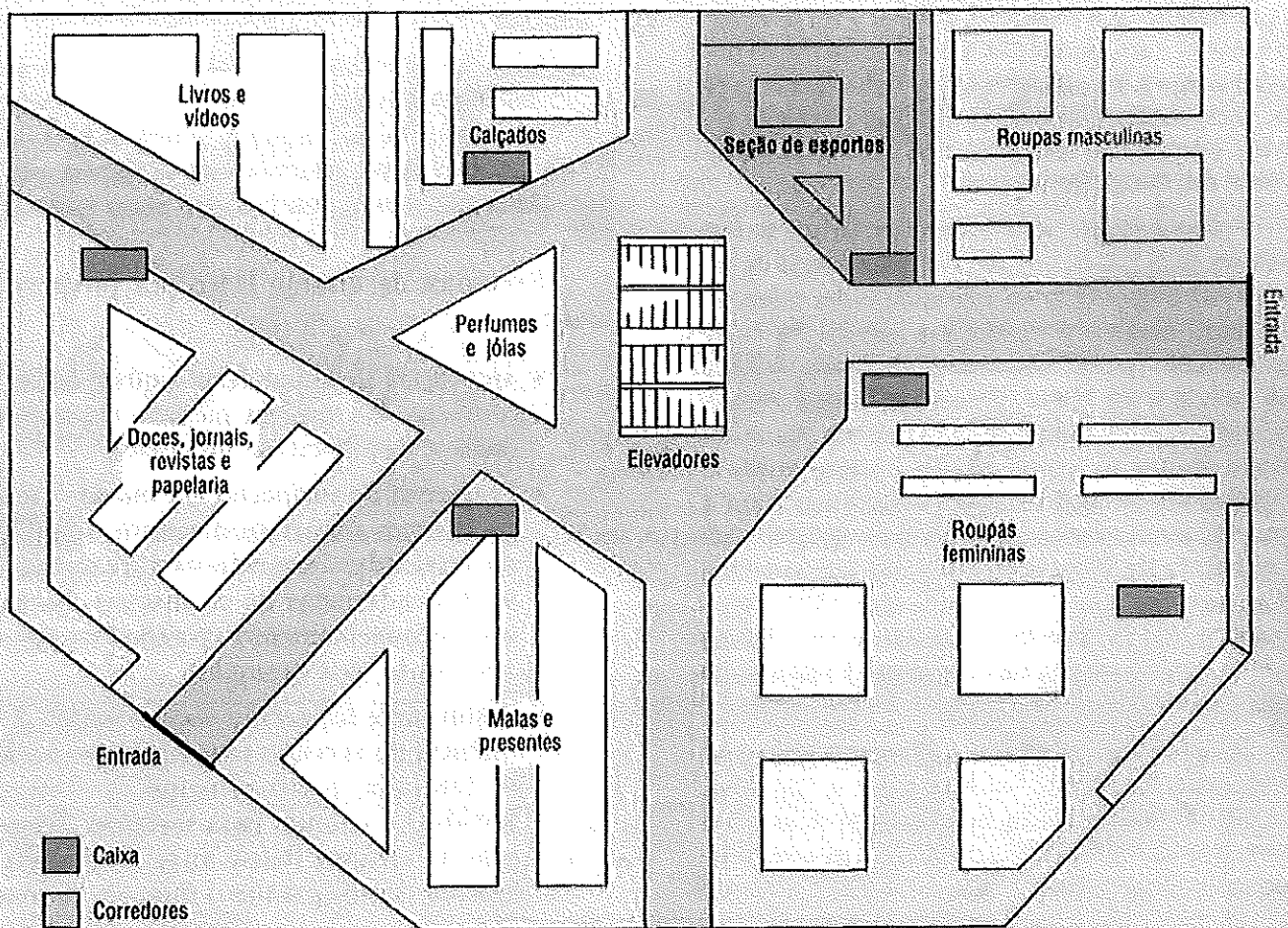


**Figura 7.4** Exemplo de arranjo físico por processo em uma biblioteca mostrando o caminho de apenas um cliente.

- *Área para produtos específicos 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-los pelo supermercado todo.
- *Maternidade em um hospital* – clientes que necessitam de atendimento em maternidade formam um grupo bem definido que pode ser tratado em conjunto; eles têm probabilidade pequena de necessitar de cuidados de outras partes do hospital ao mesmo tempo em que requerem cuidados específicos de maternidade.

Embora a idéia de arranjo físico celular seja em geral associada à operação de manufatura, os mesmos princípios podem ser, e são, usados em serviços. Na Figura 7.5, 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 por processo. Cada área pode ser considerada 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 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 vêm à loja para comprar especialmente “artigos esportivos” (mais do que sapatos, roupas, e assim por diante) para que seja compen-



**Figura 7.5** Piso térreo de loja de departamentos mostrando a "loja-dentro-da-loja" ou célula de artigos desportivos.

sador devotar 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.

### Arranjo físico por produto

O arranjo físico por produto envolve localizar os recursos produtivos transformadores inteiramente segundo a melhor conveniência do recurso que está sendo transformado. Cada produto, elemento de informação ou cliente segue um roteiro predefinido no qual a seqüência de atividades requerida coincide com a seqüência na qual os processos foram arranjados fisicamente. Esse é o motivo pelo qual, às vezes, esse tipo de arranjo físico é chamado de arranjo físico em "fluxo" ou em "linha". O fluxo de produtos, informações ou

clientes é muito claro e previsível no arranjo físico por produto, o que faz dele um arranjo relativamente fácil de controlar. De fato, em algumas operações de processamento de clientes, um arranjo físico por produto é adotado ao menos em parte para ajudar a controlar o fluxo de clientes ao longo da operação. Predominantemente, entretanto, é a uniformidade dos requisitos que leva a operação a escolher um arranjo físico por produto.

#### Arranjo físico do supermercado Delhaize De Leeuw em Ouderghem, Bélgica?

O grupo Delhaize opera em 400 pontos-de-venda de varejo na Bélgica, dos quais 100 são supermercados Delhaize De Leeuw locais. Os supermercados Delhaize competem tanto com base na localização, quanto com base

2 Entrevistas com funcionários da empresa.



na qualidade de seus produtos e serviços. Para permanecer lucrativo, cada gerente Delhaize necessita não só maximizar a receita e a contribuição por metro quadrado da loja, como também diminuir os custos de operação em termos, por exemplo, do manuseio de material ou produtividade das caixas registradoras.

O supermercado em Ouderghem possui um arranjo físico um tanto fora do comum, com dois pontos de entrada e dois pontos de saída. A localização das caixas registradoras é como na maioria dos arranjos físicos de supermercado, posicionadas perto da parede externa, mas durante o dia apenas poucas são usadas. Jornais são vendidos perto das filas de saída para que os clientes possam atualizar-se com as notícias enquanto esperam. As operadoras de caixa trabalham viradas para a loja e para a fila, enfatizando a necessidade de se trabalhar rápido quando há fila. A loja possui 10 caixas registradoras – um número alto para uma loja de apenas 1500 metros quadrados. Isso se dá devido ao pico de vendas no início da noite e porque longas filas nos caixas é considerado inaceitável.

Delhaize utiliza corredores relativamente largos entre gôndolas, garantindo um bom fluxo de carrinhos, mas isso foi feito às custas da redução de espaço nas gôndolas, o que permitiria a armazenagem de uma variedade maior de produtos. A localização dos produtos é uma decisão crítica, e afeta diretamente a conveniência dos clientes, seus níveis de compras por impulso e os custos de reposição das prateleiras. O arranjo físico geral do supermercado tem áreas claramente marcadas de auto-serviço para comida embalada, bebidas, frutas, vegetais e itens para casa. A área de *delicatessen* (que vende produtos com margens acima da média) é posicionada centralmente, de forma que todos os compradores passem por ela. As frutas e vegetais ficam dispostos perto da entrada principal, como um sinal de que são frescos e íntegros, e oferecem uma entrada atraente e acolhedora.

Itens com grande rotatividade, "essenciais" e de valor conhecido, como arroz, massa, açúcar e óleo, são localizados de forma central e visível, de modo que sejam fáceis de achar. Itens lucrativos e com rápida saída ficam dispostos na altura do olho, tanto para ajudar os consumidores, quanto para facilitar a reposição por parte dos funcionários. De forma inversa, itens com margem pequena e pouca saída são dispostos nas prateleiras de baixo. Produtos pesados e volumosos, como pacotes de cerveja, ficam dispostos perto da área de estoque para facilitar sua reposição. Comidas congeladas localizam-se no final dos corredores, perto das caixas registradoras, para que possam ser adquiridas por último. Em alguns supermercados, essas posições só são usadas para promoções, uma vez que os consumidores movem-se mais lentamente no final dos corredores e os produtos podem ser vistos de várias direções.

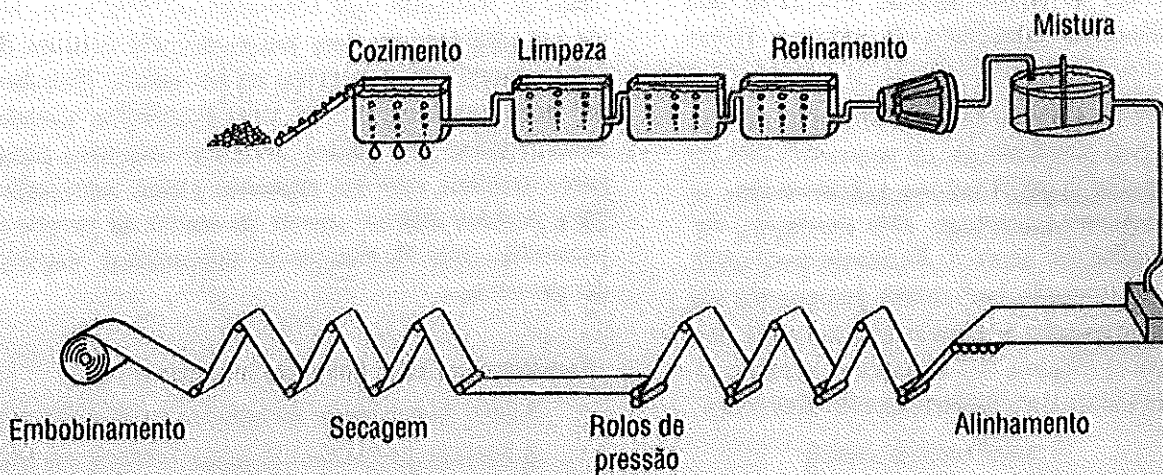
### Questões

1. Qual o tipo de arranjo físico básico utilizado por este supermercado?
2. Os objetivos de um projeto de arranjo físico de um supermercado são parecidos com os de uma operação de manufatura? Caso contrário, qual a diferença?

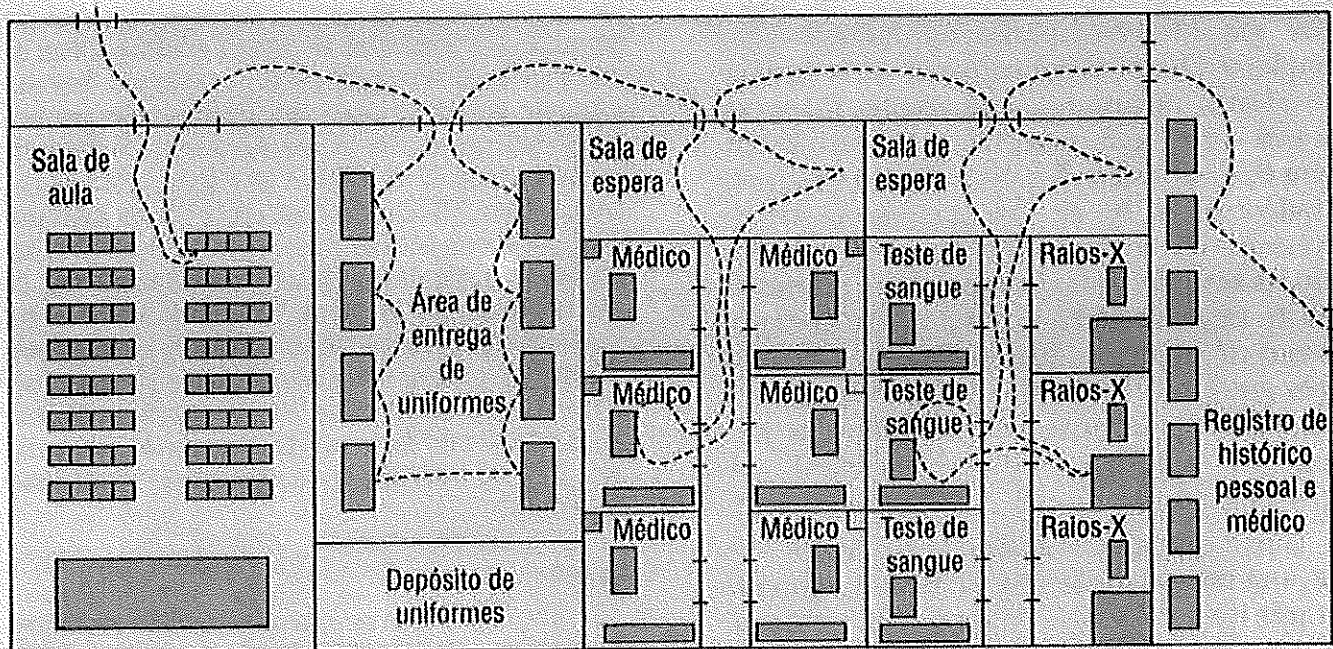
Exemplos de arranjo físico por produto incluem:

- *Montagem de automóveis* – quase todas as variantes do mesmo modelo requerem a mesma seqüência de processos.
- *Programa de vacinação em massa* – todos os clientes requerem a mesma seqüência de atividades burocráticas (preenchimento das cadernetas de vacinação), médicas e de aconselhamento (possível resguardo necessário, por exemplo).
- *Restaurante self-service* – geralmente, a seqüência de serviços requeridos pelo cliente (entrada, prato principal, sobremesa, bebidas) é comum para todos os clientes, mas o arranjo físico auxilia também a manter controle sobre o fluxo de clientes.

A Figura 7.6 mostra a seqüência de processos numa operação de manufatura de papel. Uma operação como essa usaria um arranjo físico por produto. O fluxo de materiais ao longo da operação é tanto evidente como regular. Não há as complexidades que caracterizam os arranjos físicos por processo e, com menor intensidade, os arranjos físicos celulares e, apesar de diferentes tipos de papel serem feitos nessa operação, todos requerem a mesma seqüência de processos. Primeiro, à madeira em pequenos pedaços são adicionados produtos químicos, água e vapor d'água no processo de "cozimento" para que se forme a "polpa". A "polpa" passa por um processo de limpeza antes de ser refinada, para auxiliar as fibras a se entrelaçarem. O processo de mistura combina a polpa refinada com mais água, material aglomerante, produtos químicos e corantes, depois do que a massa resultante é espalhada sobre uma tela fina (que funciona como uma esteira rolante) de arame ou plástico. A massa é então agitada lateralmente à medida que progride para que as fibras se "prendam" umas às outras, formando a folha de papel e também para que o excesso de água seja drenado. Os cilindros contra-rotativos de pressão retiram mais água da



**Figura 7.6** Seqüência de processos na manufatura de papel. Cada processo será arranjado fisicamente com a mesma seqüência.



**Figura 7.7** Um centro de alistamento militar usando arranjo físico por produto.

folha pré-formada e pressionam as fibras. O processo de secagem continua a reduzir o nível de umidade da folha até que, finalmente, a folha é enrolada em grandes bobinas.<sup>3</sup>

Faz sentido, então, localizar esses processos na ordem em que são requeridos pelos produtos

<sup>3</sup> Paper and the Environment. Arjo Wiggins Fine Papers, usado com permissão, 1991.

e deixar os materiais fluírem ao longo dos estágios de maneira previsível. De fato, esse exemplo particular de arranjo físico por produto é, até certo ponto, um exemplo extremo, pois, pelo menos na primeira parte do processamento, o papel está em forma semilíquida. Seria fisicamente difícil lidar com o produto de qualquer outra forma que não fosse fazendo-o fluir entre os processos. Entretanto, outros produtos que têm seqüências comuns de processos, como televisores, geladei-

ras, aparelhos de ar-condicionado e outros, são também produzidos com uso de arranjo físico por produto.

Operações de serviço podem também adotar arranjo físico por produto se as necessidades de "processamento" dos clientes ou informações tiverem uma seqüência 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 7.7 mostra o arranjo físico de uma unidade de alistamento do Exército.

### 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 por processo – com 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 ilustrado na Figura 7.8. Aqui, um complexo de restaurantes é mostrado com três tipos diferentes de restaurante e a cozinha que serve aos três. A cozinha é organizada conforme um arranjo físico por processo, com os processos (armazenamento de ingredientes, preparação da comida, processos de cozimento etc.) agrupados. Diferentes pratos percorrerão diferentes roteiros entre processos dependendo de seus requisitos de processamento. O restaurante tradicional é organizado 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 entradas, prato principal ou sobremesa. No

caso de clientes que desejem os três, eles terão de ser processados por meio das três células (*buffets*), antes que o serviço se complete. Finalmente, num restaurante do tipo bandeirão (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 seqüência de processos.

### Yamaha afina suas linhas de montagem

A linha de montagem do piano de cauda da Yamaha

A Yamaha Corporation do Japão, fundada em 1887, cresceu tornando-se o maior fabricante de instrumentos musicais do mundo, além de produzir uma variedade imensa de outros produtos, que vão de semicondutores e robôs até materiais esportivos e móveis. Recentemente, ela desenvolveu a reputação de diversificar seus produtos, abranger novos mercados e, especialmente, inovar em métodos de manufatura. Por exemplo, ela foi um dos primeiros fabricantes de piano a produzir pianos de cauda utilizando técnicas de linhas de montagem. Tradicionalmente, pianos de cauda (em contraposição aos pianos de gabinete, menos caros e mais vendáveis) eram fabricados utilizando-se métodos de fabricação individuais baseados em habilidades artesanais. A grande vantagem disso era que os artesãos podiam acomodar as variações individuais dos materiais (geralmente inconsistentes) de que são fabricados os pianos. Cada piano individual era construído em cima das idiossincrasias do material, produzindo um produto único, em seu tom e afinação. Para a Yamaha isso não acontece, porque embora produzindo um dos pianos de maior qualidade do mundo, ela conseguiu enfatizar consistência e confiabilidade, assim como riqueza sonora.

### Questão

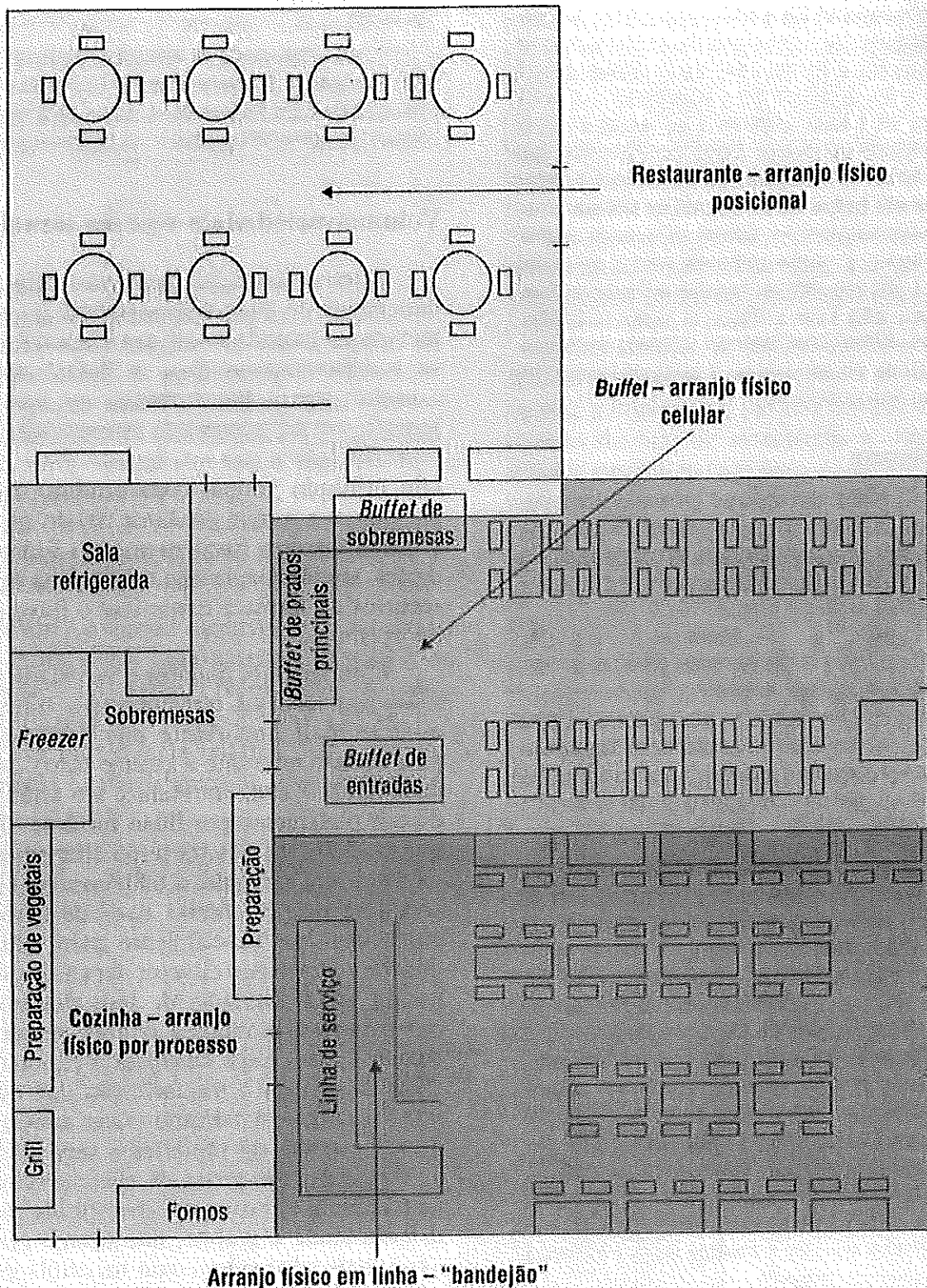
Um piano branco desloca-se na linha de montagem junto a outros pianos pretos. Você acha que isso causa algum problema na gestão da linha de montagem?

### Fluxo de chocolate e visitantes na Cadbury<sup>4</sup>

#### Fluxo de chocolate

Na famosa fábrica de chocolate Cadbury, em Bourneville, nos arredores de Birmingham, Reino Unido, produtos de chocolate são fabricados num alto grau de

4 Entrevistas com funcionários da empresa e JOHNSTON, R.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; SLACK, N. *Cases in operations management*. 2. ed. Pitman Publishing, 1997.



**Figura 7.8** Complexo de restaurantes com os quatro tipos básicos de arranjo físico.

consistência e eficiência. Os processos produtivos são baseados em arranjo físico por produto. Isso proporcionou aos engenheiros da Cadbury desenvolver e procurar maquinário que atendesse às exigências técnicas e de capacidade de cada estágio do processo. Considere, por

exemplo, a produção das barras Dairy Milk da Cadbury. Primeiro, o chocolate líquido básico é preparado a partir de grãos de cacau, leite fresco e açúcar, utilizando-se de equipamentos especializados conectados uns aos outros por meio de tubos e transportadores. Estes processos

operam continuamente, dia e noite, para garantir consistência tanto do chocolate propriamente quanto da taxa de saída. Em seguida, o líquido é bombeado através de um sistema de canos aquecidos até o departamento de moldagem, onde ele é automaticamente despejado em uma esteira de moldes de plástico feitos com precisão que formam as barras de chocolate e as vibram para a remoção de eventuais bolhas de ar. Os moldes são continuamente transportados até um grande refrigerador, permitindo que fiquem o tempo suficiente para o chocolate endurecer. O próximo estágio consiste em virar os moldes de cabeça para baixo e liberar as barras moldadas. Estas passam diretamente para um conjunto de máquinas automáticas de embalagem e empacotamento, de onde partem para o depósito.

### Fluxo de visitantes

Em 1990, a empresa abriu um grande centro de visitas ao longo da fábrica chamado "Mundo Cadbury" (ligado a uma área de observação que dá para a seção de empacotamento descrita). O Mundo Cadbury é uma exibição permanente dedicada inteiramente ao chocolate e à parte que a Cadbury tem desempenhado nessa história fascinante. Dado que a maior parte das atrações é interna, com área de circulação limitada, a exposição principal e as áreas de demonstração foram projetadas para permitir um fluxo suave de visitantes, evitando-se sempre que possível gargalos e atrasos. O projeto é também um arranjo físico "por produto" com uma rota única para todos os visitantes.

A entrada para a exposição se dá por meio de um ingresso com horário, o que garante fluxo constante de visitantes, que são livres para andar de acordo com sua própria velocidade, mas são obrigados a manter a rota única através da sequência de demonstrações. Ao sair dessa seção, eles são direcionados para o andar superior até o setor de embalagem do chocolate, onde um guia acompanha grupos com um número limite de visitantes até os lugares adequados onde eles podem ver os processos de embalagem e um vídeo de apresentação. Os grupos são então levados para o andar inferior até a área de demonstração, onde funcionários habilitados demonstram a fabricação em pequena escala de chocolates feitos à mão. Finalmente, os visitantes podem passear desacompanhados por uma passagem longa e sinuosa e visitar as exposições restantes.

A Cadbury escolheu usar o projeto do arranjo físico por produto tanto para a produção de chocolates como para o processamento de seus visitantes. Em ambos os casos, os volumes são altos e a variedade oferecida, limitada. Existe demanda suficiente para cada "produto" padrão e o objetivo das operações é alcançar alto nível de qualidade e consistência a custos baixos. Nenhuma operação possui muita flexibilidade de volume e ambas são caras para mudar.

### Questão

Tanto a fabricação de chocolates como a visita guiada na operação Cadbury parecem ser conformadas em um arranjo físico do tipo por produto. Isso significa que ambas as operações possuem os mesmos objetivos?

### 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 que deve ser tratada pela decisão referente a arranjo físico. 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 7.4 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 um grupo de clientes com necessidades similares possa ser identificado, mas a variedade ainda é grande, um arranjo celular torna-se mais adequado, como na célula de artigos esportivos da Figura 7.5. 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.

Examinando esses exemplos dos diferentes tipos básicos de arranjo físico, pode-se identificar o efeito de volume e variedade (veja a Figura

7.9). Aumentando-se o volume, aumenta a importância de se gerenciar bem os fluxos e, reduzindo-se a variedade, aumenta a viabilidade de um arranjo físico baseado num fluxo evidente e regular.

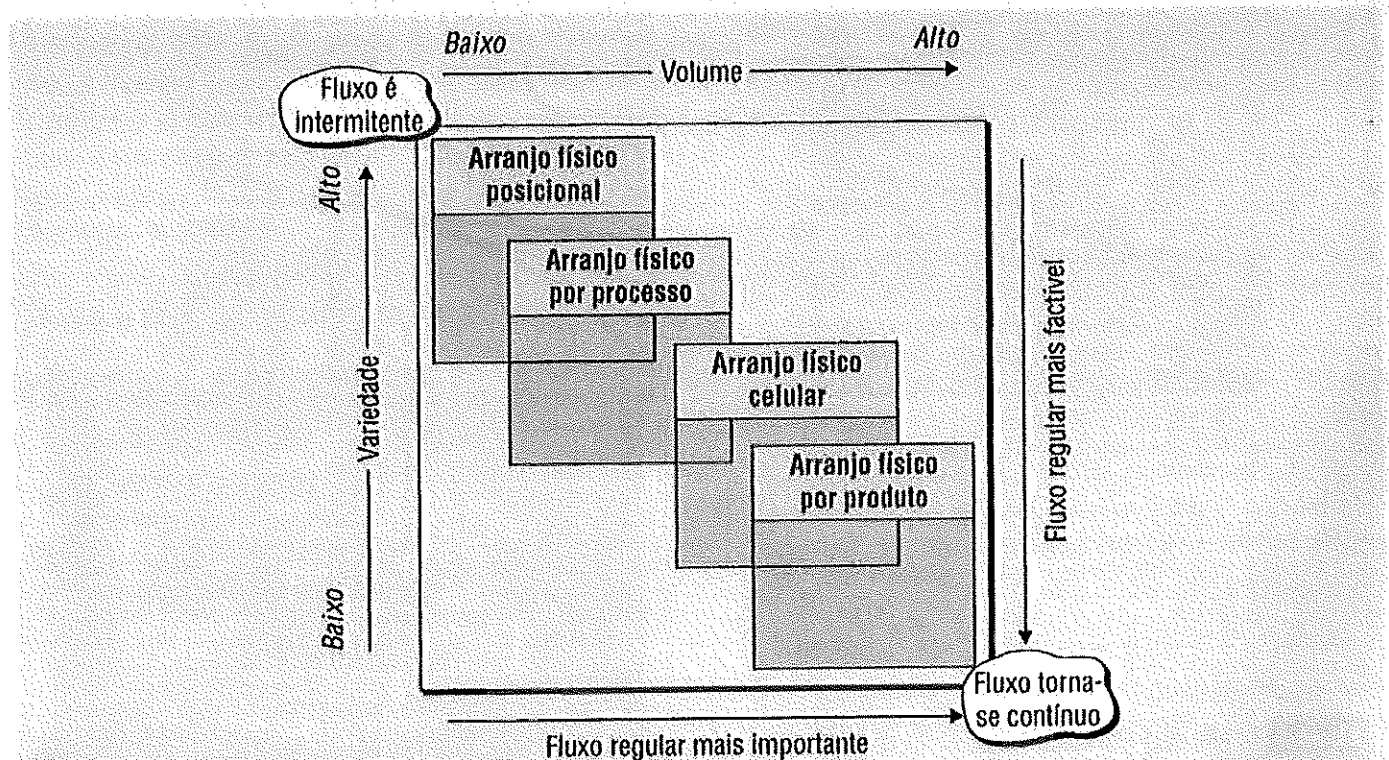
### Selecionando um tipo de arranjo físico

A decisão de qual tipo de arranjo físico adotar raramente, se tanto, envolve uma escolha entre os quatro tipos básicos. As características de volume e variedade de uma operação vão reduzir a escolha, *grosso modo*, a uma ou duas opções. Ainda assim, como ilustra a Figura 7.9, as faixas de volumes e variedades contidas em cada tipo de arranjo físico sobrepõem-se. A decisão sobre qual arranjo específico escolher é influenciada por um entendimento correto das vantagens e desvantagens de cada um.

A Tabela 7.2 mostra algumas das mais significativas vantagens e desvantagens 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. Pode também haver outros meios de atingir objetivos relacionados a fluxo. O terminal de passageiros "Eurohub" no aeroporto de Birmingham, Inglaterra, altera a direção do fluxo usando tecnologia para mudar o roteiro percorrido pelos clientes.

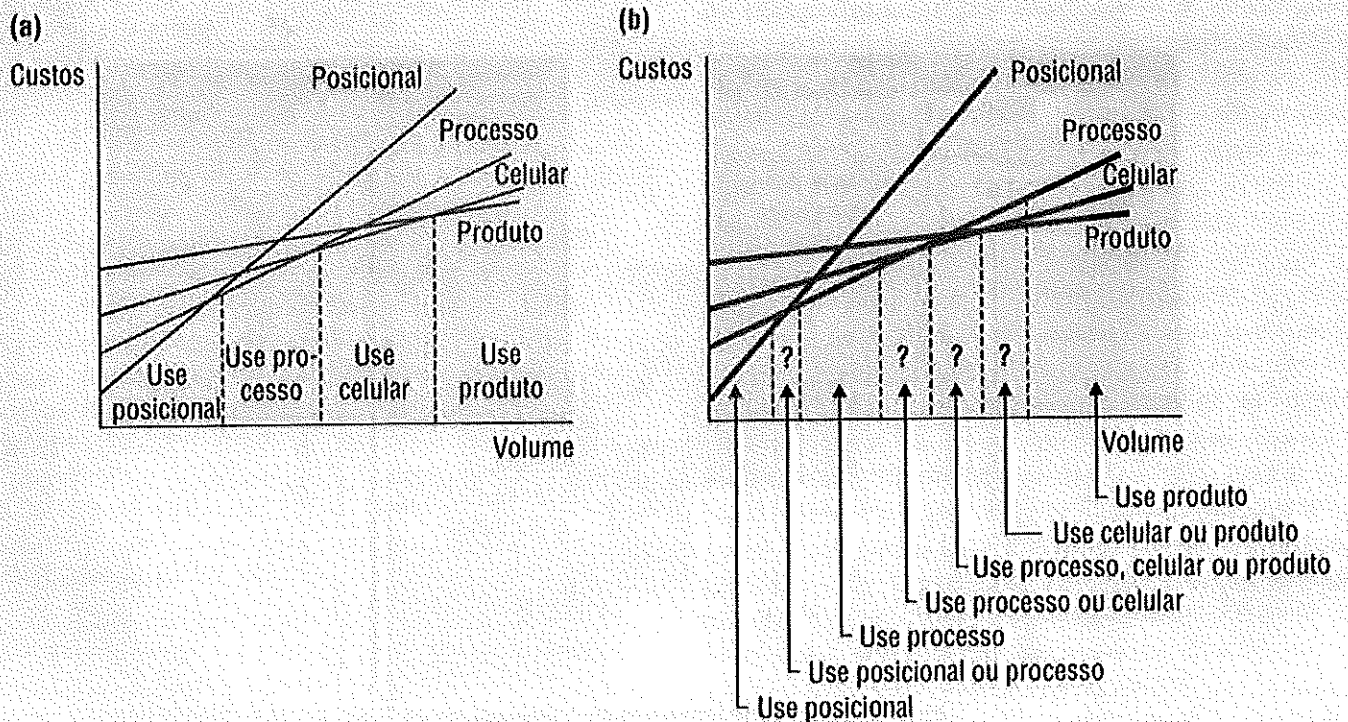
De todas as características dos vários tipos básicos de arranjo físico, talvez a mais significativa seja a implicação, para os custos unitários, da escolha do tipo de arranjo físico. Isso pode ser melhor entendido com base na distinção entre as repercussões sobre os elementos de custo fixo e variável 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 produzir os mesmos produtos ou serviços. Entretanto, os custos variáveis de se produzir cada produto ou serviço particular são relativamente altos quando comparados a qualquer outro tipo de arranjo físi-



**Figura 7.9** Posição do processo no contínuo volume – variedade influencia seu arranjo físico e, consequentemente, o fluxo dos recursos transformados.

Tabela 7.2 *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>Processo</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



**Figura 7.10** (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.

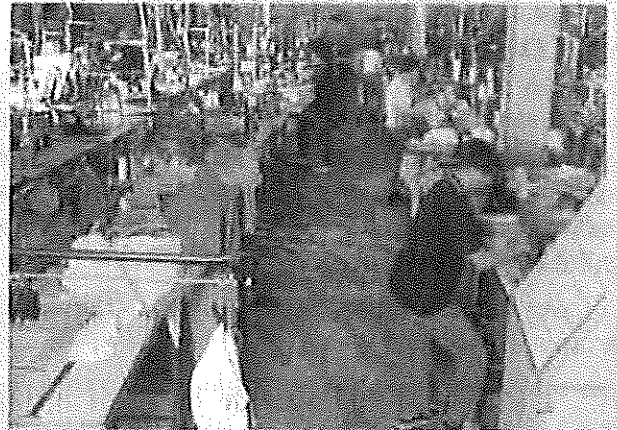
co. Os custos fixos tendem, então, a aumentar à medida que se migra do arranjo posicional, passando pelos arranjos por processo e celular para o arranjo por produto. Os custos variáveis por produto ou serviço, por sua vez, tendem a decrescer. Os custos totais para cada tipo básico de arranjo físico dependerão dos volumes de produtos ou serviços produzidos e são mostrados na Figura 7.10(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 7.10(b)). A discriminação dos diferentes tipos de arranjo físico é agora muito menos clara. Há faixas de volumes para as quais quaisquer dos dois ou três tipos de arranjo envolvidos poderiam 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, mostrada na Tabela 7.2.

### Times e linhas na indústria de vestuário



Linha de produção de roupas íntimas e de dormir



Célula de produção de roupas de estilo

O projeto do trabalho é uma questão essencial na indústria de vestuário europeia. A maior parte das empresas opera sob a pressão das mudanças do estilo e da moda, de acordo com as estações e sob as pressões de custo constantes. Os salários relativamente altos da Europa fazem com que as empresas sempre tenham concorrentes de economias de salários mais baratos. Encontrar uma solução que responda a ambas as necessidades é um desafio permanente para os gerentes de produção industrial. Por exemplo, linha de produção de roupas íntimas e de dormir para mulheres e crianças possui aproximadamente 30 pessoas e os produtos permanecem somente alguns segundos em cada estação (uma única pessoa). Depois de terminar sua tarefa, cada operador dispõe o produto em uma área reservada para "trabalho em andamento" entre as estações. Normalmente, os funcionários desenvolvem somente suas próprias tarefas, mas existem três ou quatro volantes que podem cobrir tarefas dos funcionários ausentes.

Um tipo diferente de organização seria um time de cinco ou seis operadores que fabricam roupa feminina de estilo – produtos mais complexos. Os lotes de roupas, uma vez produzidos, raramente são repetidos, portanto, os operadores necessitam "aprender de novo" a cada vez que começam um novo lote. Os operadores estão organizados de uma forma relativamente flexível, movendo-se em uma célula em forma de ferradura e utilizando as máquinas dispostas ao redor da célula. Geralmente, existem três vezes mais máquinas que operadores, que se movem por entre as máquinas conforme seja necessário. Dado que as tarefas alocadas aos funcionários individuais mudam com frequência, eles necessitam ser multicapacitados.

### Questões

1. Quais são as vantagens e desvantagens desses dois tipos de organização do trabalho?
2. Como poderiam as diferenças de produtos/mercados entre tipos diferentes de produtos afetar a escolha entre esses dois sistemas?



## PROJETO DETALHADO DE ARRANJO FÍSICO

Uma vez que o tipo básico de arranjo físico foi decidido, o próximo passo é decidir seu projeto detalhado. O projeto detalhado é o ato de operacionalizar os princípios gerais implícitos na escolha dos tipos básicos de arranjo físico.

As saídas do estágio de projeto detalhado de arranjo físico são:

- a localização física de todas as instalações, equipamentos, máquinas e pessoal que constituem os centros de trabalho da operação;
- o espaço a ser alocado a cada centro de trabalho;
- as tarefas que serão executadas por centro de trabalho.

### Que faz um bom arranjo físico?

Antes de considerar os vários métodos usados no projeto detalhado de arranjo físico, é útil definir quais são os objetivos dessa atividade. De certa forma, os objetivos dependerão das circunstâncias específicas, mas há alguns objetivos gerais que são relevantes para todas as operações:<sup>5</sup>

- *Segurança inerente* – todos os processos que podem representar perigo, tanto para a mão-de-obra como para os clientes, não devem ser acessíveis a pessoas não autorizadas. Saídas de incêndio devem ser claramente sinalizadas com acesso desimpedido. Passagens devem ser claramente marcadas e mantidas livres.
- *Extensão do fluxo* – o fluxo de materiais, informações ou clientes deve ser canalizado pelo arranjo físico, de forma a atender aos objetivos da operação. Em muitas operações, isso significa minimizar as distâncias percorridas pelos recursos transformados. Esse não é sempre o caso, entretanto: os supermercados, por exemplo, gostariam de garantir que os clientes passassem por determinados produtos em seu trajeto dentro da loja.

- *Clareza de fluxo* – todo o fluxo de materiais e clientes deve ser sinalizado de forma clara e evidente para clientes e para mão-de-obra. Por exemplo, operações de manufatura em geral têm corredores muito claramente definidos e marcados. Operações de serviços em geral usam roteiros sinalizados, como, por exemplo, alguns hospitais que usam faixas pintadas no chão com diferentes cores para indicar o roteiro para os diferentes departamentos.
- *Conforto da mão-de-obra* – a mão-de-obra deve ser alocada para locais distantes de partes barulhentas ou desagradáveis da operação. O arranjo físico deve prover um ambiente de trabalho bem ventilado, iluminado e, quando possível, agradável.
- *Coordenação gerencial* – supervisão e coordenação devem ser facilitadas pela localização da mão-de-obra e dispositivos de comunicação.
- *Acesso* – todas as máquinas, equipamentos e instalações devem estar acessíveis para permitir adequada limpeza e manutenção.
- *Uso do espaço* – todos os arranjos físicos devem permitir uso adequado de espaço disponível da operação (incluindo o espaço cúbico, assim como o espaço de piso). Isso em geral implica minimizar o espaço utilizado para determinado propósito, mas às vezes pode significar criar uma impressão de espaço luxuoso, como no lobby de entrada de hotéis de luxo.
- *Flexibilidade de longo prazo* – os arranjos físicos devem ser mudados periodicamente à medida que as necessidades da operação mudam. Um bom arranjo físico terá sido concebido com as potenciais necessidades futuras da operação em mente. Por exemplo, se é provável que a demanda cresça para determinado produto ou serviço, o arranjo físico foi projetado de modo a poder acomodar a futura expansão?

### Projeto detalhado de arranjo físico posicional

Em arranjos posicionais, a localização dos recursos não vai ser definida com base no fluxo de recursos transformados, mas na conveniência

<sup>5</sup> Lista gentilmente cedida por Paul Wälley da Warwick University Business School, Reino Unido.

dos recursos transformadores em si. O objetivo do projeto detalhado de arranjo físico posicional é conceber um arranjo que possibilite aos recursos transformadores maximizarem sua contribuição potencial ao processo de transformação, permitindo-lhe prestar um bom "serviço" aos recursos transformados. O projeto detalhado de alguns arranjos físicos posicionais como, por exemplo, os canteiros de obra, pode tornar-se bastante complicado, especialmente se o programa de atividades for freqüentemente alterado. Imagine o caos num canteiro de obra se caminhões pesados contínua e ruidosamente passassem pelo escritório de gerenciamento da obra, caminhões de entrega de uma empresa subcontratada tivessem que cruzar a área de outra subcontratada para chegar a seu local de armazenagem, ou se a mão-de-obra que despendesse a maior parte de seu tempo na obra fosse alocada para uma posição distante dela. Embora haja técnicas que ajudem a posicionar recursos em arranjos físicos posicionais, elas não são amplamente utilizadas. Uma técnica chamada "análise de recursos locacionais" avalia os efeitos de se localizar os vários recursos de transformação em todas as localizações disponíveis na planta e da forma como esses recursos interagem entre si.

### Projeto detalhado de arranjo físico por processo

O projeto detalhado de arranjo físico por processo é marcado pela complexidade, que também caracteriza o fluxo desse tipo de arranjo físico. O principal fator que leva a essa complexidade é o número muito grande de diferentes alternativas. Por exemplo, no caso mais simples de apenas dois centros de trabalho, há apenas duas formas de arranjá-los, um em *relação ao outro*. Mas há seis maneiras de arranjar quatro centros de trabalho e 120 maneiras de arranjar cinco centros.

A relação é fatorial. Para  $N$  centros, há  $N$  fatorial ( $N!$ ) diferentes maneiras de arranjá-los onde:

$$N! = N \times (N - 1) \times (N - 2) \times \dots \quad (1)$$

Então, mesmo para arranjos físicos por processo relativamente simples com, digamos 20 centros de trabalho, há  $20! = 2,433 \times 10^{18}$  maneiras de arranjar a operação.

Até certo ponto, é por essa *complexidade combinatória* que, na prática, dificilmente soluções ótimas podem ser encontradas. A maioria dos arranjos físicos por processo é projetada por uma combinação de intuição, bom-senso e processos de tentativa e erro aplicados sistematicamente.

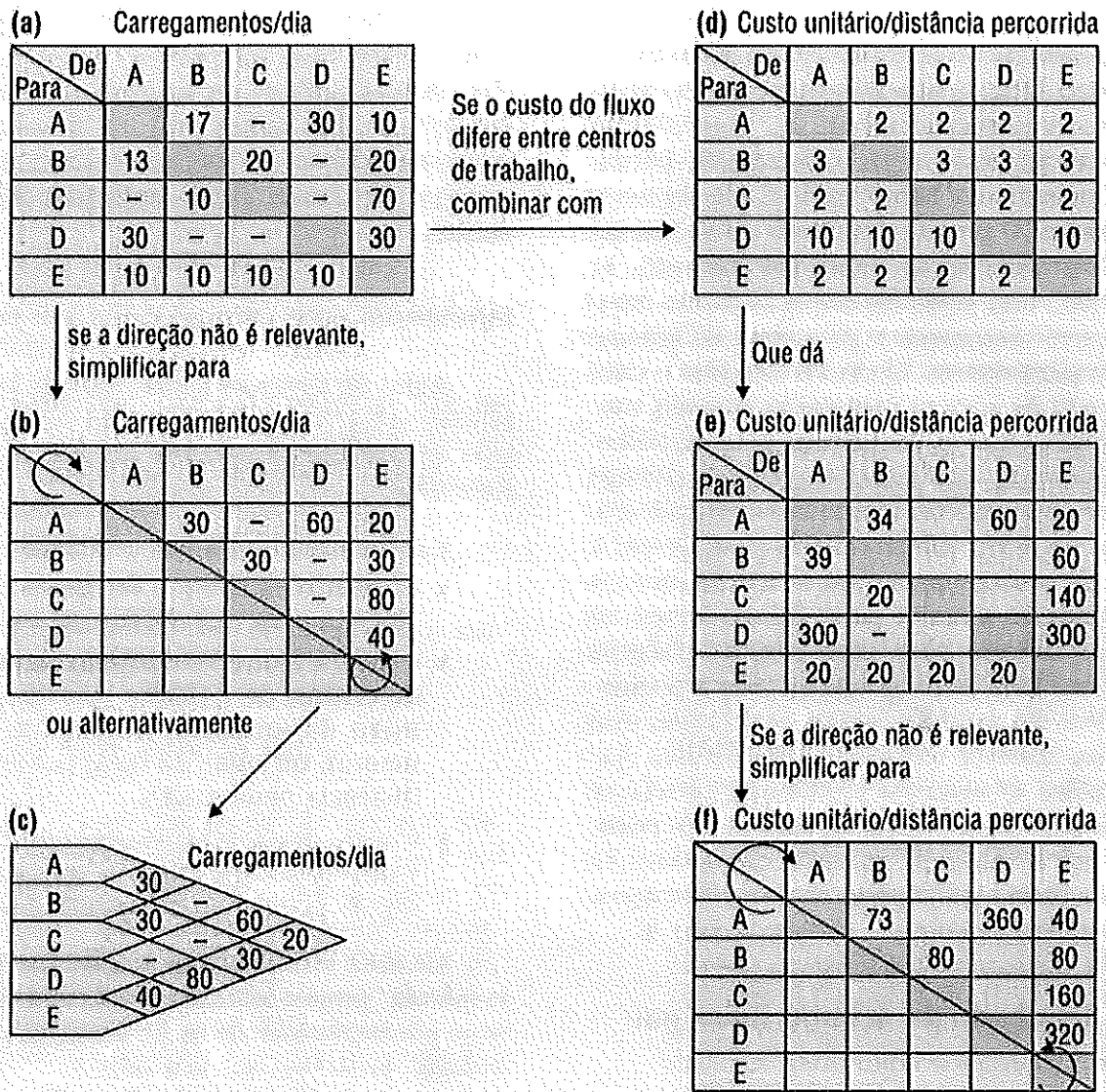
### Informação para arranjo físico por processo

Antes de começar o processo de projeto detalhado em arranjos físicos por processo, há algumas informações essenciais de que o projetista necessita:

- a área requerida por centro de trabalho;
- as restrições sobre a forma da área a ser alocada para cada centro de trabalho;
- o nível e a direção do fluxo entre cada par de centros de trabalho (por exemplo, número de jornadas, número de carregamentos, ou custo do fluxo por unidade de distância percorrida);
- o quão desejável é manter centros de trabalho próximos entre si ou próximos de algum ponto fixo do arranjo físico.

Os dois últimos itens são de particular importância, porque ambos influenciam diretamente as conseqüências de se localizarem centros de trabalho próximos uns dos outros.

O nível e a direção do fluxo são em geral representados em *diagramas de fluxo* (também chamados de cartas "de-para"), como mostrado na Figura 7.11(a), que registra, neste caso, o número de carregamentos transportados entre departamentos. Há muitas maneiras que poderiam ser utilizadas para coletar essa informação. Por exemplo, em algumas operações, dados sobre fluxo podem ser obtidos com base em informações sobre o roteiro de produção dos produtos e da demanda desses produtos. Onde o fluxo é mais aleatório, como numa biblioteca, por exemplo, a informação poderia ser obtida por observação das rotas percorridas pelos clientes ao longo de determinado período de tempo representativo. Se a direção do fluxo entre centros produtivos faz pouca diferença para a decisão sobre arranjo físico, a informação pode ser simplificada, como mostrado na Figura 7.11(b), sendo que uma alternativa a essa forma de representação é mostrada na Figura 7.11(c).

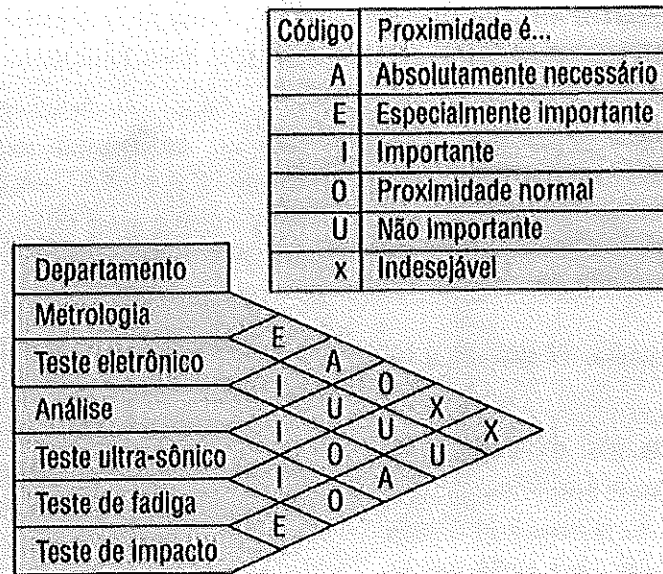


**Figura 7.11** Coleta de informações para arranjo físico por processo.

Em algumas operações, há diferenças significativas no custo de mover materiais ou clientes entre diferentes centros de trabalho. Por exemplo, na Figura 7.11(d), é mostrado o custo unitário de transportar um carregamento entre cinco centros de trabalho. Aqui, o custo unitário de mover cargas do centro B é sensivelmente maior do que o custo de mover cargas da maioria dos outros centros. Poderia haver várias razões para isso, por exemplo, porque os produtos se encontram em um estado delicado depois de terem sido processados por B e, portanto, necessitam de manuseio cuidadoso, ou porque eles precisam manter sua temperatura elevada depois de serem tratados termicamente, enquanto não sofrem processos subsequentes. Combinando os dados sobre custos unitários e fluxo, chega-se aos dados

de custo por distância percorrida mostrados na Figura 7.11(e). Esses dados são mostrados de forma simplificada na Figura 7.11(f).

Um método qualitativo alternativo de se indicar a importância relativa das relações entre centros é a *carta de relacionamentos*. Uma carta de relacionamentos indica o quão desejável é manter pares de centros juntos uns dos outros. A Figura 7.12 mostra uma carta de relacionamentos para um laboratório de testes. É de particular importância que alguns departamentos sejam mantidos juntos, como, por exemplo, teste eletrônico e metrologia. Outros departamentos devem ser mantidos tão longe quanto possível uns dos outros, como por exemplo, metrologia e teste de impacto.



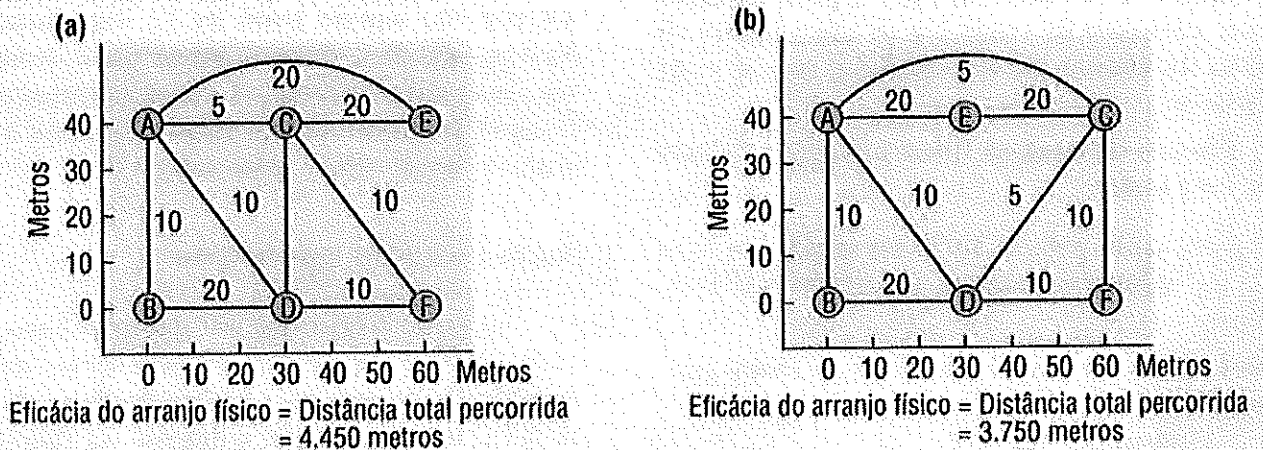
**Figura 7.12** Diagrama de relacionamentos.

**Objetivos do arranjo físico por processo**

Na maioria dos exemplos de arranjo físico por processo, o principal objetivo é minimizar os custos para a operação, que são associados com o fluxo de recursos transformados ao longo da operação. Então, por exemplo, um fabricante de móveis localizaria os centros de trabalho em sua fábrica de modo a minimizar a necessidade de transportar componentes. Similarmente, um hospital localizaria seus departamentos para minimizar a movimentação de seus pacientes (e talvez de sua equipe). Em algumas operações, a ênfase muda para maximizar a receita associada ao flu-

xo, mais do que minimizar custos. Operações de varejo, especialmente, poderiam arranjar sua operação visando atingir este objetivo (veja, por exemplo, o boxe sobre o Supermercado Delhaize). Algumas operações de lazer, como os parques de diversões, podem também visar a esse objetivo. Entretanto, o objetivo mais comum é, de longe, minimizar custos.

No nível mais simples, uma operação poderia julgar a eficácia de seu arranjo físico simplesmente com base nas distâncias totais percorridas na operação. Por exemplo, a Figura 7.13(a) mostra um arranjo físico por processo simples com seis centros de trabalho com o número total de



**Figura 7.13** (a) e (b) O objetivo da maioria dos arranjos físicos por processo é minimizar o custo associado com movimentação, às vezes simplificado para minimizar a distância percorrida.

jornadas percorridas entre centros em um dia. A eficácia do arranjo físico, nesse nível simples, poderia ser calculada conforme a seguir:

Eficácia do arranjo físico =  $\Sigma F_{ij} D_{ij}$  para todo  $i \neq j$  onde:

$F_{ij}$  = o fluxo em carregamentos ou jornadas por período, do centro de trabalho  $i$  para o centro  $j$ .

$D_{ij}$  = distância entre o centro de trabalho  $i$  e o centro  $j$ .

Quanto mais baixo o índice de eficácia do arranjo físico, melhor o arranjo físico.

Neste exemplo, o total do número de jornadas multiplicado pela distância para cada par de departamentos onde há algum fluxo é 4.450 m. Essa medida indica se mudanças no arranjo físico representam melhora em sua efetividade (pelo menos nos termos simples definidos aqui). Por exemplo, se os centros C e E são trocados, como na Figura 7.13(b), a medida total de eficácia passa a ser 3.750, e mostra que o arranjo físico agora acarretará uma redução nas distâncias totais percorridas na operação.

Esse cálculo assume que todas as jornadas se equivalem, por representarem o mesmo custo para a operação. Em algumas operações, entretanto, isso não é assim. Por exemplo, algumas jornadas que envolvem a equipe (saudável) ou pacientes em boa forma teriam pouca importância relativa se comparadas com outras jornadas em que pacientes doentes necessitam ser movidos do centro cirúrgico para unidades de terapia intensiva.

Nesses casos, poderia valer a pena incorporar um elemento de custo (ou de dificuldade) na medida da eficácia do arranjo físico que se tenta minimizar.

Eficácia do arranjo físico =  $\Sigma F_{ij} D_{ij} C_{ij}$  para todo  $i \neq j$  onde:

$C_{ij}$  = custo por distância percorrida de fazer a jornada entre os departamentos  $i$  e  $j$ .

#### Método geral de projeto de arranjo físico por processo

A abordagem geral de determinar a localização de centros de trabalho em arranjo físico por processo é a seguinte.

*Passo 1* – Colete as informações sobre os centros de trabalho e os fluxos entre eles.

*Passo 2* – Desenhe um arranjo físico esquemático, mostrando os centros de trabalho e os fluxos entre eles, colocando os pares de centros de trabalho com fluxo mais intenso próximos entre si.

*Passo 3* – Ajuste o arranjo físico esquemático de forma a levar em conta as restrições da área dentro da qual o arranjo físico deve caber.

*Passo 4* – Desenhe o arranjo físico mostrando as áreas reais dos centros de trabalho e as distâncias que os materiais e as pessoas devem percorrer. Calcule a medida da eficácia do arranjo físico, levando em conta ou as distâncias totais percorridas ou os movimentos custeados.

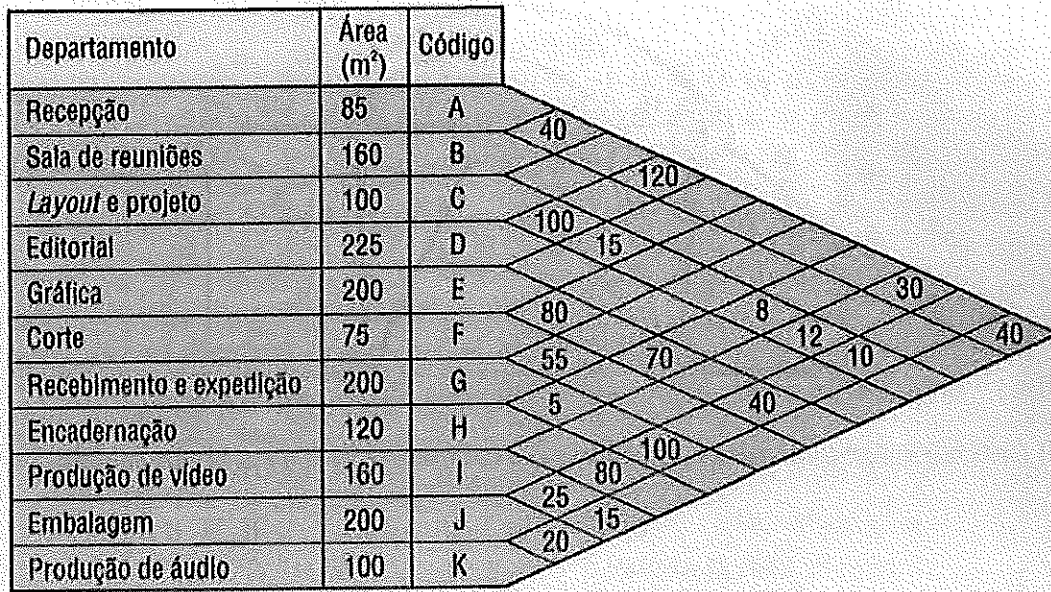
*Passo 5* – Cheque se a troca da localização de quaisquer dos centros faz reduzir a distância total percorrida ou o custo total de movimentação. Se sim, faça a troca e retorne ao passo 4. Se não, faça deste o arranjo físico final.

#### Exemplo: Grupo Educacional Rotterdam

Como exemplo de arranjo físico por processo, considere o Grupo Educacional Rotterdam (GER), uma empresa que comissiona, projeta e manufatura material didático para cursos de educação e treinamento a distância. O grupo acaba de realizar um *leasing* de um novo edifício com uma área de 1.800 metros quadrados, dentro do qual pretende fazer caber 11 “departamentos”. Antes de mudar-se, o grupo realizou um exercício para descobrir o número médio de viagens feitas por sua equipe entre os 11 departamentos. Embora algumas viagens sejam mais significativas que outras (devido à carga carregada pela equipe), foi decidido que todas as viagens seriam tratadas como tendo igual valor:

#### *Passo 1* – Colete informações

As áreas requeridas por departamento junto com o número médio de viagens entre departamentos são mostradas na carta de fluxo da Figura 7.14. Nesse exemplo, a direção do fluxo não é relevante e fluxos muito pequenos (menores que cinco viagens por dia) não foram incluídos na análise.



Dimensões do edifício = 30 metros x 60 metros

**Figura 7.14** Fluxo de informações para o Grupo Educacional Rotterdam.

### Passo 2 – Desenhe o arranjo físico esquemático

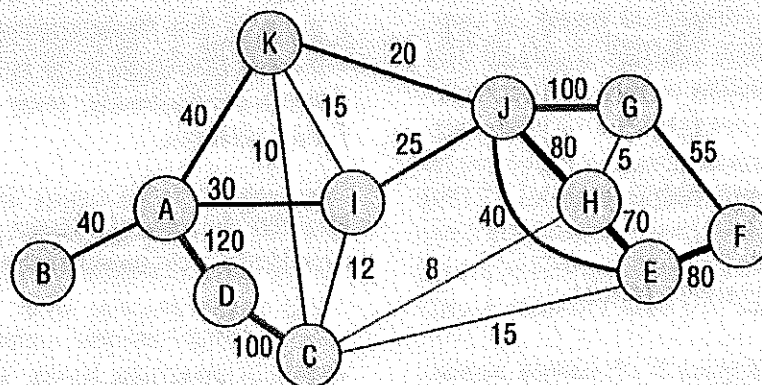
A Figura 7.15 mostra o primeiro arranjo físico esquemático dos departamentos. As linhas mais grossas representam fluxos de alta intensidade, entre 70 e 120 viagens por dia; as linhas de grossura média são usadas para representar fluxos entre 20 e 69 viagens por dia e as mais finas para fluxos de baixa intensidade, entre 5 e 19 viagens por dia. O objetivo aqui é arranjar os centros de trabalho de forma que aqueles departamentos entre os quais haja linhas mais grossas fiquem o mais junto possível. Quanto mais intenso o fluxo, mais curta a linha deve ser.

### Passo 3 – Ajuste o arranjo esquemático

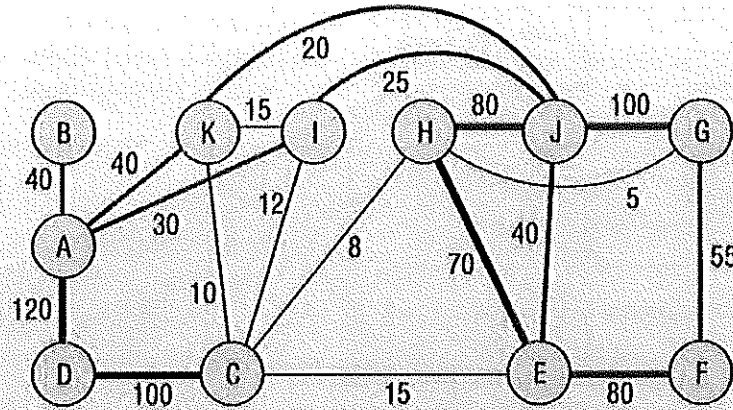
Se os departamentos fossem arranjados exatamente como mostrado na Figura 7.15, o edifício que os abrigará deveria ter uma forma irregular e, portanto, de alto custo. O arranjo físico necessita ajustes para que se leve em conta a forma do edifício. A Figura 7.16 mostra os departamentos arranjados de forma mais ordenada às dimensões do edifício.

### Passo 4 – Desenhe o arranjo físico

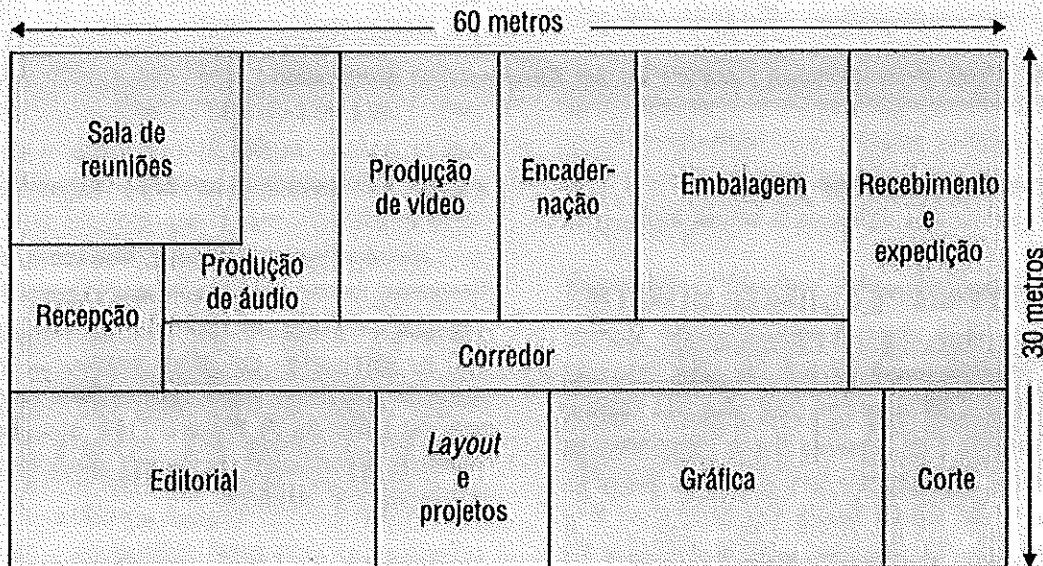
A Figura 7.17 mostra os departamentos arranjados com as dimensões reais do edifício e



**Figura 7.15** Arranjo físico esquemático colocando centros com altos níveis de tráfego próximos uns dos outros.



**Figura 7.16** Arranjo físico esquemático ajustado para adequar-se às dimensões do edifício.



**Figura 7.17** Arranjo físico final do edifício.

ocupando áreas que se aproximam de suas áreas requeridas. Embora as distâncias entre os centróides dos departamentos tenham mudado seu formato físico, suas posições relativas permanecem as mesmas. É nesse estágio que se pode calcular uma expressão quantitativa do movimento associado com esse arranjo físico relativo.

**Passo 5 – Cheque as possíveis trocas**

O arranjo físico da Figura 7.17 parece razoavelmente eficaz, mas geralmente vale a pena checar se é possível melhorá-lo trocando as posições relativas de pares de departamentos de forma a

reduzir o movimento total de fluxo. Por exemplo, a posição dos departamentos H e J pode ser trocada e a distância total percorrida calculada com a nova configuração para identificar se reduções foram obtidas.

**Projeto de arranjo físico por processo auxiliado por computador**

A complexidade combinatória do arranjo físico por processo levou ao desenvolvimento de numerosos procedimentos heurísticos com o intuito de auxiliar no processo de projeto. Procedimentos heurísticos usam o que tem sido chama-

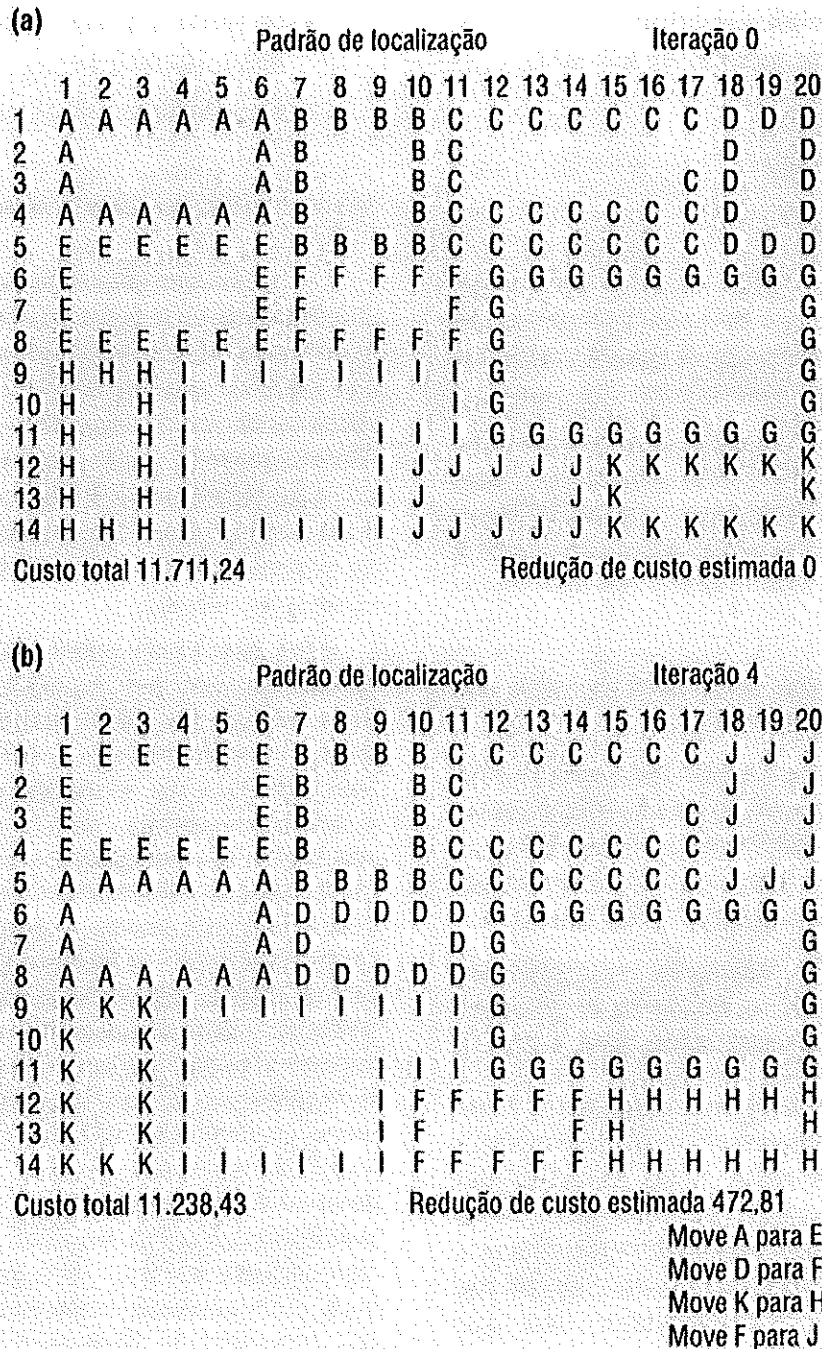


Figura 7.18 (a) Arranjo físico inicial para a heurística CRAFT, (b) Arranjo físico final depois de quatro iterações da heurística CRAFT.

do “atalhos no processo racional” e “regras de bom-senso” na busca de soluções razoáveis. Eles não buscam a solução ótima (embora uma possa ser achada, por acaso), mas tentam obter uma boa solução subótima.

Um desses procedimentos heurísticos baseados em computador é o chamado CRAFT (*Computerized Relative Allocation of Facilities Techni-*

que).<sup>6</sup> O racional por trás desse procedimento é que, enquanto é inviável avaliar  $N$  fatorial ( $N!$ ) arranjos físicos alternativos quando  $N$  é grande, é viável começar com um arranjo físico inicial e en-

6 ARMOUR, G. C.; BUFFA, E. S. A heuristic algorithm and simulation approach to the relative location of facilities. *Management Science*, v. 9, nº 2, 1963.



tão avaliar todas as possíveis formas de trocar a localização de pares de centros de trabalho.

Há:

$$\frac{N!}{2!(N-2)!}$$

possíveis maneiras de trocar dois de  $N$  centros de trabalho. Para um arranjo físico de 20 centros de trabalho, há 190 maneiras de se trocar a posição de centros de trabalho, dois a dois.

Três informações iniciais são necessárias para a heurística CRAFT: uma matriz de fluxo entre departamentos, uma matriz de custo associado com o transporte entre departamentos e uma matriz espacial mostrando o arranjo físico inicial. A partir disso:

- a localização dos centróides de cada departamento é calculada;
- a matriz de fluxo é ponderada pela matriz de custo e essa matriz ponderada é então multiplicada pela distância entre departamentos para se obterem os custos totais de transporte do arranjo físico inicial; e
- o modelo, então, calcula as conseqüências para os custos de se trocarem as posições de todos os departamentos, dois a dois.

A troca que resulta na maior melhoria é então fixada e o ciclo completado é repetido com a matriz de custos atualizada. Essas iterações são repetidas até que nenhum melhoramento seja obtido pela troca de dois departamentos. A Figura 7.18 mostra o arranjo físico inicial, que foi um *input* para o modelo, e o arranjo físico final, gerado pelo modelo.

### Projeto detalhado de arranjo físico celular

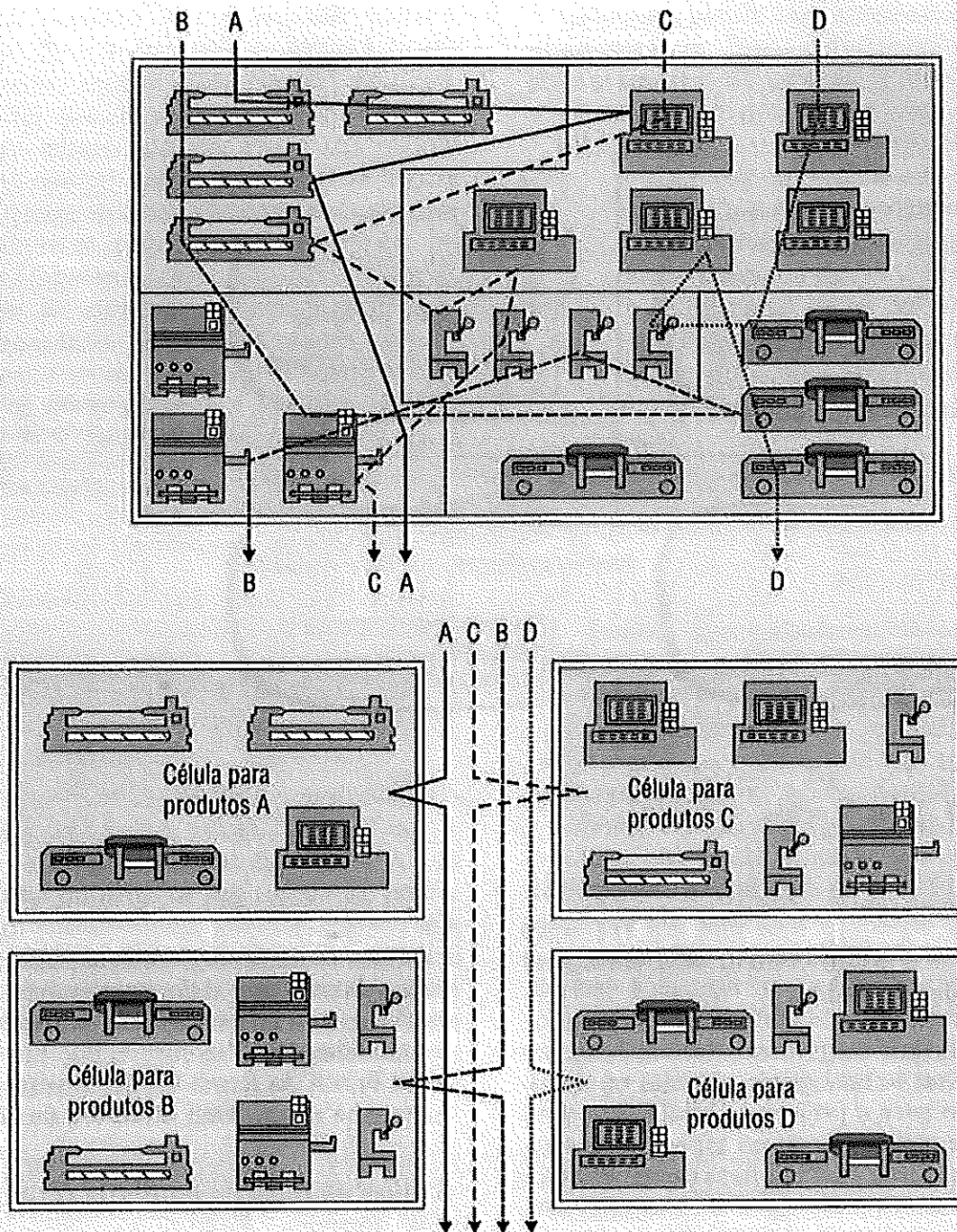
Células representam um compromisso entre a flexibilidade do arranjo físico por processo e a simplicidade do arranjo físico por produto (tratado a seguir). Por exemplo, a Figura 7.19 mostra como um arranjo físico por processo foi dividido entre quatro células, cada uma das quais com recursos suficientes para processar uma "família" de peças. Fazendo isso, a gestão da operação tomou implicitamente decisões com relação:

- ao porte e à natureza das células que decidiu adotar; e
- a quais recursos alocar para cada célula.

### Porte e natureza das células

A natureza das células pode ser descrita examinando-se a quantidade de recursos diretos e indiretos alocados dentro da célula. Recursos diretos são aqueles que transformam material, informação ou clientes diretamente. Recursos indiretos existem para apoiar os recursos diretos em suas atividades de transformação. A Figura 7.20 mostra uma classificação de células baseada na quantidade de recursos diretos e indiretos incluídos na célula.

No quadrante inferior direito, encontram-se as que podem ser chamadas uma célula pura. Suas atividades são focalizadas em completar toda a transformação, e todos os recursos para isso necessários estão incluídos na célula. O quadrante superior direito representa a extensão lógica do conceito de célula de forma a incluir todos os recursos indiretos de apoio e administrativos necessários para que a célula seja "auto-suficiente". Essas grandes células às vezes são chamadas "fábricas-dentro-da-fábrica". Similarmente, uma unidade de maternidade pode, se contiver todos os recursos de apoio, ser auto-suficiente. O quadrante inferior esquerdo representa o tipo de célula em que os recursos são localizados juntos, porque são freqüentemente necessários na mesma parte do processo geral de transformação. Por exemplo, duas máquinas que são sempre usadas, uma logo depois da outra, poderiam ser localizadas juntas. Da mesma forma, uma grande biblioteca, embora com um setor de máquinas copiadoras, poderia também colocar uma máquina copiadora no setor de referências para o caso de cópias serem necessárias ao usuário desse setor. Finalmente, o quadrante superior esquerdo representa células que algumas pessoas questionam até se merecem mesmo o nome de células. Elas apenas possuem recursos diretos suficientes para serem aplicados sobre parte do processo total e, dessa forma, parecem ter pouca diferença de um setor ou centro de trabalho convencional de um arranjo físico por processo. A diferença é que elas possuem todos os recursos indiretos de que necessitam. Novamente, conceitualmente elas poderiam ser capazes de ser auto-suficientes em relação ao

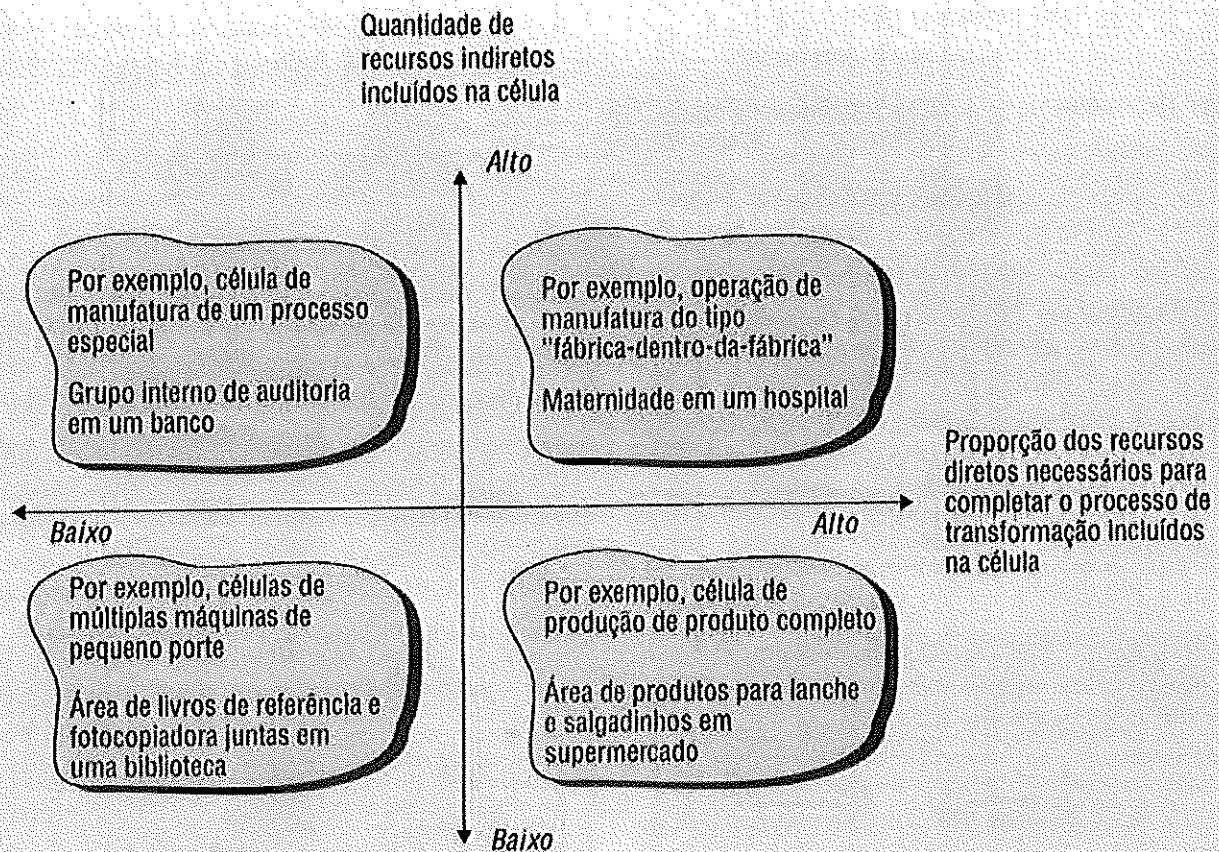


**Figura 7.19** Arranjo físico celular agrupa processos necessários para uma família de produtos.

restante da operação. Uma célula especialista de tratamento térmico numa operação de manufatura poderia conter todo o apoio especialista de manutenção, supervisão e apoio técnico suficiente para prover um serviço técnico e de manutenção até para o resto da fábrica. O setor de auditoria interna de um banco poderia também conter seu apoio técnico e administrativo – nesse caso talvez manter sua independência do resto da organização que estará auditando.

#### Alocação de recursos às células

O projeto detalhado de arranjos físicos celulares é difícil parcialmente porque a idéia de célula, por si própria, representa um compromisso entre arranjos físicos por processo e por produto. No caso do arranjo físico por processo, o foco está na localização dos vários recursos dentro da operação. Já no caso de arranjo físico por produ-



**Figura 7.20** Tipos de célula.

to (tratado a seguir), o foco está nos requisitos do "produto" – o arranjo celular deve considerar as necessidades de ambos.

Às vezes, para simplificar a tarefa, é interessante concentrar-se no aspecto processo ou no aspecto produto para o projeto da célula. Se o projetista decide concentrar-se no aspecto processo, ele pode usar *cluster analysis* para descobrir quais grupos de processos agrupam-se naturalmente. Isso envolve o exame de cada tipo de processo e o questionamento de quais outros tipos de processo um produto ou uma peça que use aquele processo tem maior probabilidade de requerer. Por exemplo, na manufatura de móveis, se todas as peças que necessitam de furação também necessitam de rosqueamento, qualquer que seja a decisão final de alocação de recursos às células, as máquinas de furação e rosqueamento deverão ficar juntas na mesma célula. Alternativamente, se a operação decide concentrar-se em seus produtos para projetar suas células, ela provavelmente usará um dos sistemas de codificação e classificação de peças. Esses sistemas utilizam códigos de múltiplos dígitos para cada peça ou produto.

Os códigos indicam características das peças ou produtos como forma, tamanho, material usado e outros fatores que definem algumas de suas necessidades de processamento. Há vários sistemas comercialmente disponíveis, por exemplo, o sistema Brisch do Reino Unido, o sistema Opitz da Alemanha e o sistema MICLASS da Holanda.

#### *Análise do fluxo de produção (Production flow Analysis – PFA)*<sup>7</sup>

Talvez a abordagem mais conhecida para alocar tarefas e máquinas a células, a análise do fluxo de produção (PFA), analisa ambos os requisitos do produto e agrupamento de processos simultaneamente. Na Figura 7.21 (a), uma operação de manufatura agrupou os componentes que produz em oito famílias – por exemplo, os componentes da família 1 requerem máquinas 2 e 5. Nesse caso, a matriz não parece exibir qualquer

<sup>7</sup> BURBIDGE, J. L. *The principles of production control*. 4. ed. Macdonald and Evans, 1978.

agrupamento natural. Se a ordem das linhas e colunas é mudada, entretanto, de forma a mover as cruzes para o mais próximo possível da diagonal da matriz, que vai do canto superior esquerdo ao canto inferior direito, então um padrão mais claro emerge. Isso é ilustrado na Figura 7.21 (b) e mostra que as máquinas poderiam ser convenientemente agrupadas em três células, indicadas no diagrama como células A, B e C. Embora esse procedimento seja particularmente útil para se alocarem máquinas a células, a análise raramente é simples e "limpa". Esse é o caso aqui, em que o componente 8 necessita de processamento pela máquina 3 que foi alocada para a célula B.

Geralmente, há três formas de lidar com isso, nenhuma delas totalmente satisfatória:

- Outra máquina igual à máquina 3 poderia ser comprada e colocada na célula A. Isso claramente resolveria o problema, mas requereria investimento de capital para a compra da nova máquina que poderia ficar subutilizada.
- Componentes da família 8 poderiam ser mandados para a célula B depois de terem sido processados na célula A (ou mesmo no meio de seu roteiro de produção, se necessário); essa solução evita a necessidade de compra de outra máquina, mas entra em conflito com uma das idéias básicas do arranjo físico celular – obter simplificação de um fluxo previamente complexo.

- Se há vários componentes com esses problemas, pode ser necessário conceber uma célula especial para eles (normalmente, chamada de *célula de remanescentes*), que seria quase como um miniarranjo físico por processo. Novamente, isso não está totalmente de acordo com a simplicidade buscada pelo arranjo físico celular e também pode envolver algum investimento de capital. A célula dos remanescentes, entretanto, remove os componentes *inconvenientes* do resto da operação, deixando-a com um fluxo mais simples e previsível.

### Projeto detalhado de arranjo físico por produto

Poderia parecer que é necessário pouco trabalho de projeto detalhado em arranjo físico por produto, pois ele envolve arranjar os recursos de maneira a conformar-se às necessidades de processamento do produto ou serviço produzido. Entretanto, embora a consideração do produto realmente domine o projeto do arranjo físico por produto, são ainda necessárias numerosas decisões quanto a esse tipo de projeto detalhado. A natureza da decisão de projeto também muda um pouco. Em outros tipos de arranjo físico, a decisão é do tipo "onde localizar o quê". No arranjo físico por produto, a decisão é mais sobre "o que localizar onde", pois em geral a decisão sobre localização está tomada e, então, as tarefas

		Famílias de componentes							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Máquinas	1						X		X
	2	X			X			X	
	3		X			X			X
	4			X			X		X
	5	X			X			X	
	6			X					X
	7				X			X	
	8		X			X			X

		Famílias de componentes							
		3	6	8	5	2	4	1	7
Máquinas	4	X	X	X					
	1		X	X	Célula A				
	6	X		X					
	3			X	X	X	Célula B		
	8				X	X			
	2						X	X	X
	5				Célula C		X	X	X
7						X		X	

**Figura 7.21** (a) e (b) Uso da análise do fluxo de produção para alocar máquinas a células.

são alocadas à localização decidida. Por exemplo, pode ter sido decidido que quatro estações de trabalho serão necessárias para produzir pastas para executivos numa linha de montagem. A decisão então é sobre quais tarefas necessárias à montagem da pasta serão alocadas a quais estações de trabalho.

Essa decisão de projeto é chamada de *balanceamento de linha* e é apenas umas das decisões (embora freqüentemente a mais difícil) envolvidas no projeto detalhado de arranjo físico por produto. Essas decisões são as seguintes:

- Que tempo de ciclo é necessário?
- Quantos estágios são necessários?
- Como lidar com variações no tempo para cada tarefa?
- Como balancear o arranjo físico?
- Como arranjar os estágios?

### *Tempo de ciclo dos arranjos físicos por produto*

O tempo de ciclo dos arranjos físicos por produto é o tempo que decorre entre a finalização de dois produtos, elementos de informação ou clientes pela operação. O tempo de ciclo é um elemento vital no projeto do arranjo físico por produto e tem influência significativa sobre a maioria das outras decisões detalhadas de projeto. É calculado considerando a demanda de tempo provável dos produtos e a quantidade de tempo disponível para a produção durante o mesmo intervalo.

#### *Exemplo*

Suponha que o setor de operações regionais de re-laguada (ou *back-office*) de um grande banco esteja projetando uma operação que vai processar suas solicitações de empréstimos hipotecados. O número de solicitações a serem processadas é 160 por semana e o tempo disponível para processar as solicitações é de 40 horas por semana.

$$\begin{aligned} \text{O tempo de ciclo para o arranjo físico} \\ &= \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Quantidade a ser processada}} \\ &= 40/160 = \frac{1}{4} \text{ de hora} = 15 \text{ minutos} \end{aligned}$$

Então, o arranjo físico do banco deve ser capaz de processar solicitações a cada 15 minutos.

### *Número de estágios*

A próxima decisão no projeto detalhado do arranjo físico por produto refere-se ao número de estágios do arranjo físico. Na prática, pode ser qualquer número entre um e diversas centenas, dependendo, entre outras coisas, do tempo de ciclo envolvido e da quantidade de trabalho necessário para completar o produto ou o serviço. Este último elemento de informação é chamado de *conteúdo de trabalho* do produto ou serviço. Quanto maior o conteúdo de trabalho e quanto menor o tempo de ciclo, maior o número de estágios necessários.

#### *Exemplo*

Suponha que o banco do exemplo anterior calculou que o conteúdo de trabalho médio de processar uma solicitação de empréstimo hipotecado é 60 minutos. O número de diferentes estágios necessários a processar solicitações a cada 15 minutos pode ser calculado conforme a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Número de estágios} &= \frac{\text{Conteúdo total de trabalho}}{\text{Ciclo de tempo necessário}} \\ &= \frac{60 \text{ minutos}}{15 \text{ minutos}} = 4 \text{ estágios} \end{aligned}$$

Se ele não tivesse resultado em um número inteiro, teria sido necessário arredondá-lo, sempre para cima. É difícil, embora nem sempre impossível, alocar frações de pessoas para *staff* dos estágios.

### *Variação do tempo de tarefa*

Até agora, pudemos imaginar uma linha de quatro estágios, cada um contribuindo com um quarto do conteúdo de trabalho de processar uma solicitação e passando a documentação para o próximo estágio a cada 15 minutos. Na prática, evidentemente, o fluxo não seria tão regular.

A alocação de trabalho para cada estação poderia em média durar 15 minutos, mas quase com certeza esse tempo irá variar a cada vez que uma solicitação é processada. Essa é uma característica geral de qualquer processamento repetitivo (e, de fato, de praticamente qualquer trabalho processado por pessoas) e pode ser causada por um grande número de fatores:

- Cada produto ou serviço processado pode ser diferente dos outros – por exemplo,

diferentes modelos de automóvel processados na mesma linha.

- Produtos ou serviços em série, embora essencialmente semelhantes, podem requerer pequenas diferenças de tratamento. Por exemplo, no processamento dos empréstimos hipotecados, o tempo que será gasto em determinadas tarefas dependerá das circunstâncias pessoais do solicitante do empréstimo.
- Há em geral ligeiras variações na coordenação física e no esforço da pessoa que executa a tarefa.

Essas variações podem introduzir irregularidades no fluxo ao longo da linha, o que, por sua vez, pode causar duas coisas: criação de filas temporárias e perda de tempo disponível de trabalho. Pode até ser necessário introduzir mais recursos na operação para compensar a perda de eficiência resultante da variação dos tempos de trabalho.

### Balaceamento da alocação de tempo de trabalho

Talvez a mais problemática de todas as decisões de projeto detalhado de arranjo físico seja aquela de garantir uma alocação equânime de trabalho para cada estágio da linha. Esse processo é chamado de *balanceamento de linha*. No exemplo do processamento dos empréstimos, foi assumido que o conteúdo de trabalho foi dividido igualmente entre os quatro estágios, cabendo a cada um 15 minutos. Isso é virtualmente impossível de obter em situações práticas e algum desbalanceamento no trabalho alocado a cada estágio ocorrerá. Inevitavelmente, isso irá aumentar o tempo de ciclo efetivo de linha. Se ele se torna maior que o tempo de ciclo requerido, pode ser necessário devotar mais recursos, na forma de um estágio adicional, para compensar o desbalanceamento. A eficácia da atividade de balanceamento de linha é medida pelo que se chama de *perda de balanceamento*. Isso refere-se ao tempo desperdiçado por meio da alocação desigual de trabalho como uma porcentagem do tempo total investido no processamento de um produto ou serviço.

### Técnicas de balanceamento<sup>8</sup>

Como nos outros tipos de arranjo físico, há várias técnicas que podem ser usadas para apoiar o balanceamento de linha. De novo, na prática, as abordagens mais comumente utilizadas são as heurísticas simples. Entre elas, destaca-se a técnica de *diagrama de precedência*, que é uma representação do ordenamento dos elementos que compõem o conteúdo do trabalho total do produto ou serviço. Os círculos são conectados por setas que significam o ordenamento dos elementos. Duas regras aplicam-se quando se está construindo o diagrama:

- os círculos que representam os elementos são desenhados o mais possível à esquerda;
- nenhuma das setas que representam relações de precedência deve ser desenhada no sentido vertical.

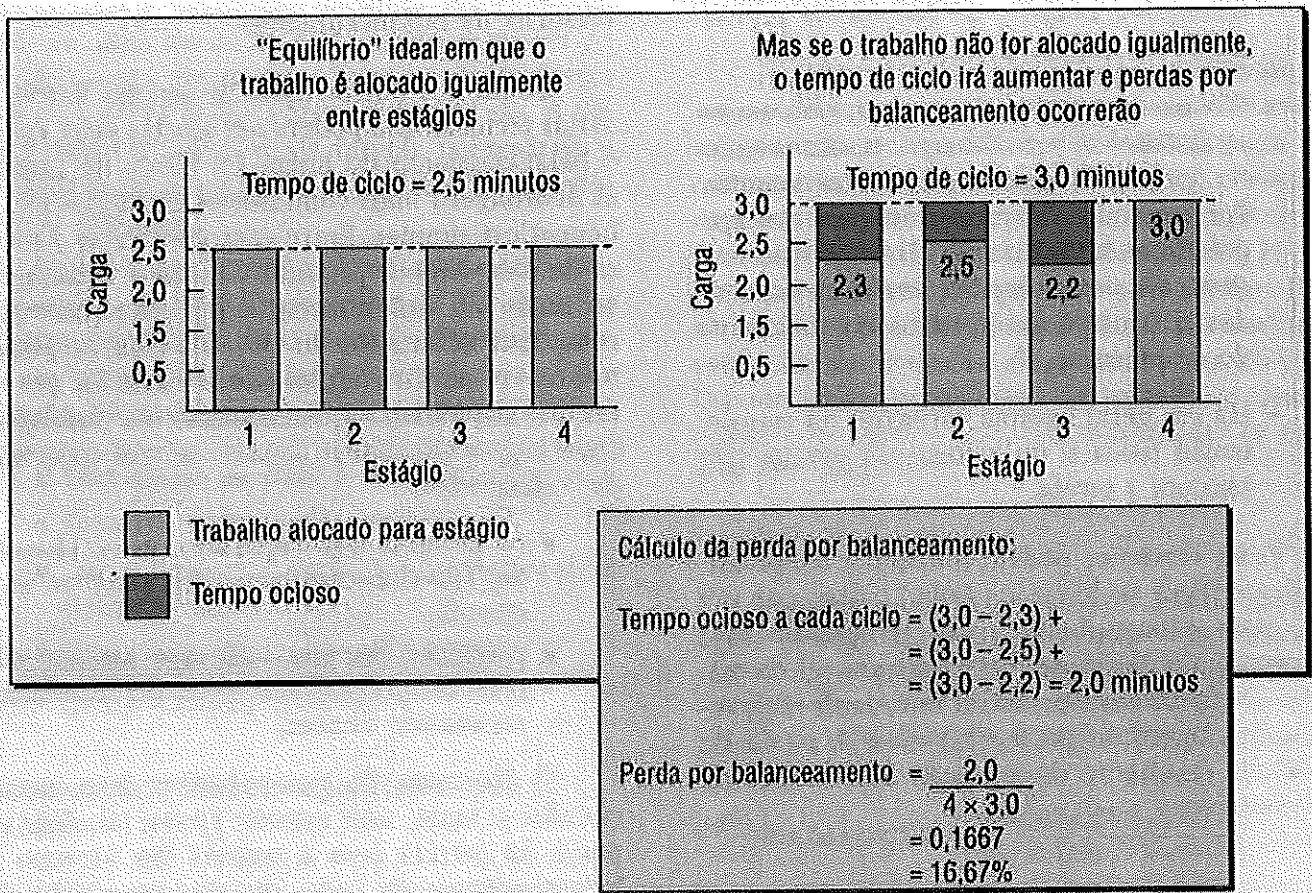
O diagrama de precedências, seja usando círculos e setas, seja usando forma tabular, é o ponto de partida para a maioria das técnicas de balanceamento de linha. As técnicas mais complexas não serão tratadas aqui, mas é importante descrever a abordagem geral para o balanceamento de arranjos físicos por produto.

#### Exemplo

A Figura 7.22 ilustra as alocações de trabalho em uma linha de quatro estágios. A quantidade total de tempo investido na produção de cada produto ou serviço é quatro vezes o tempo de ciclo porque, para cada unidade produzida, todos os quatro estágios estão trabalhando pelo tempo de ciclo. Quando o trabalho é igualmente alocado entre estágios, o tempo total investido em cada produto ou serviço produzido é  $4 \times 2,5 = 10$  minutos. Entretanto, quando o trabalho não é igualmente alocado, conforme ilustrado, o tempo investido é  $4 \times 3,0 = 12$  minutos, o que quer dizer que 2 minutos do tempo, 16,67% do total, são desperdiçados.

Essa abordagem geral é a de alocar os elementos do diagrama de precedência ao primeiro estágio, começando da esquerda, na ordem das colunas, até que a quantidade de trabalho alocada

<sup>8</sup> Há diversos métodos de balanceamento, veja por exemplo, KILBRIDGE, K.; WESTER, L. A heuristic method of assembly line balancing. *Journal of Industrial Engineering*, v. 57, nº 4, 1961, ou STEYN, P. G. Scheduling multi-model production lines. *Business Management*, v. 8, nº 1, 1977.



**Figura 7.22** Perda por balanceamento é a proporção do tempo investida no processamento do produto não usado produtivamente.

da ao estágio se encontrar próxima, mas não superior ao tempo de ciclo. Quando aquele estágio estiver tão cheio de trabalho quanto possível, sem exceder o tempo de ciclo, passe ao próximo estágio, e assim por diante, até que todos os elementos de trabalho tenham sido alocados. A questão-chave é como selecionar um elemento a ser alocado a um estágio quando mais de um elemento pode ser escolhido. Duas regras heurísticas são particularmente úteis nessa decisão:

- Simplesmente escolha o maior que "caiba" no tempo remanescente daquele estágio.
- Escolha o elemento com o maior número de atividades subsequentes, ou seja, aquele com maior número de elementos que só podem ser alocados depois que ele o for.

#### Exemplo: Bolos Karlstad

Considere a Bolos Karlstad (BK), uma empresa manufatureira de bolos especiais, que recentemente conseguiu um contrato de suprimento, para uma grande ca-

deia de supermercados, de um bolo especial na forma de uma nave espacial. Foi decidido que os volumes envolvidos nesse fornecimento justificariam uma linha de produção dedicada ao acabamento, decoração e embalagem do bolo. Essa linha teria então de executar os elementos de trabalho mostrados na Figura 7.23, que também mostra o diagrama de precedência para o trabalho total. O pedido inicial do supermercado foi de 5.000 bolos por semana e o número de horas trabalhadas pela fábrica é 40 por semana.

A partir dessas informações:

$$\text{O tempo de ciclo requerido} = \frac{40 \text{ h} \times 60 \text{ min}}{5.000} = 40 \text{ min}$$

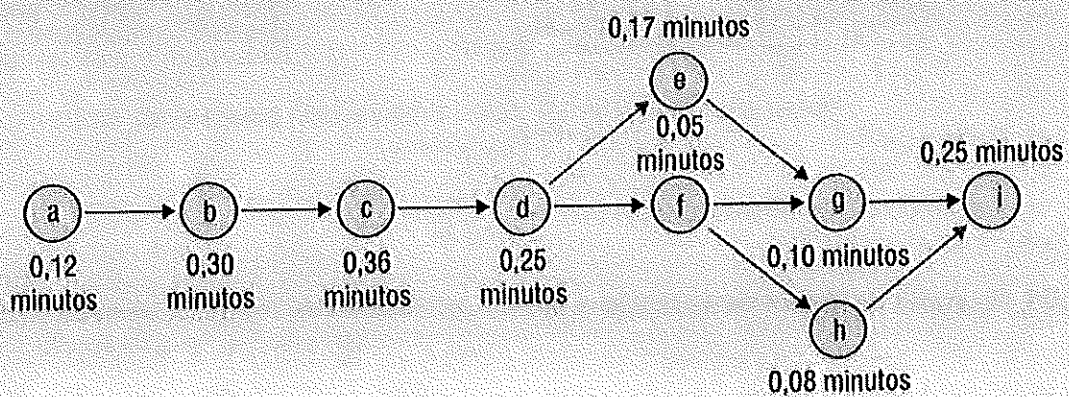
Estágios requeridos

$$\frac{1,68 \text{ min (conteúdo total de trabalho)}}{0,48 \text{ min (tempo de ciclo requerido)}} = 3,5 \text{ estágios}$$

Isso significa quatro estágios

Começando do lado esquerdo do diagrama de precedências, os elementos *a* e *b* podem ser alocados ao estágio 1. Alocar o elemento *c* ao estágio 1 faria com que

Elemento (a) – Deformagem e rebarbação	0,12 minutos
Elemento (b) – Conformação e recortes	0,30 minutos
Elemento (c) – Colocação de recheio de amêndoas	0,36 minutos
Elemento (d) – Colocação de recheio branco	0,25 minutos
Elemento (e) – Decoração com cobertura vermelha	0,17 minutos
Elemento (f) – Decoração com cobertura verde	0,05 minutos
Elemento (g) – Decoração com cobertura azul	0,10 minutos
Elemento (h) – Aplicação de <i>transfers</i>	0,08 minutos
Elemento (i) – Transferência para embalagem	0,25 minutos
Concluído total de trabalho = 1,68 minutos	



**Figura 7.23** Listagem de elementos e diagrama de precedências para Bolos Karlstad.

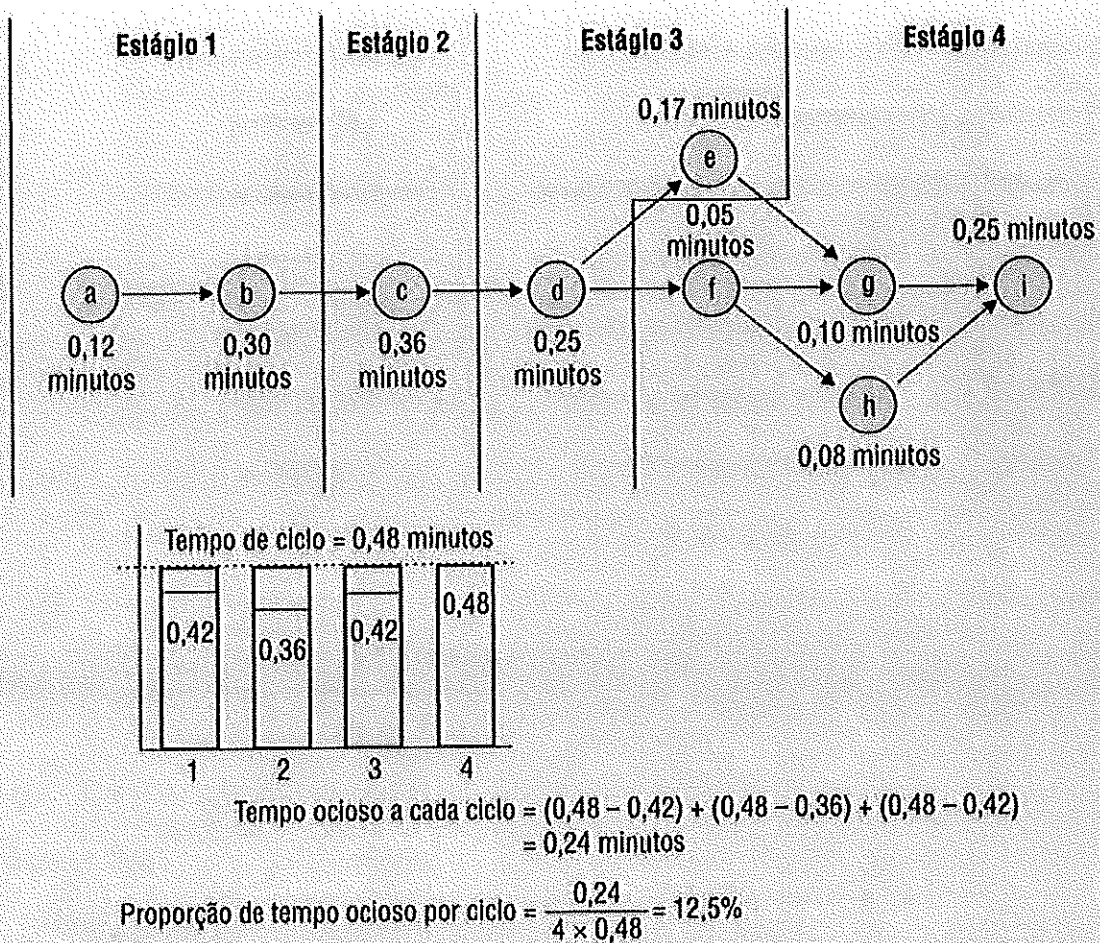
o tempo de ciclo fosse excedido. De fato, apenas o elemento *c* pode ser alocado ao estágio 2, pois a inclusão do elemento *d* faria exceder o tempo de ciclo. O elemento *d* pode ser alocado ao estágio 3. Tanto o elemento *e* como o elemento *f* podem também ser alocados ao estágio 3, mas não ambos, caso em que o tempo de ciclo seria excedido. Seguindo a regra heurística do "elemento com maior conteúdo de trabalho", o elemento *e* é o escolhido. Os elementos remanescentes, então, são alocados ao estágio 4. A Figura 7.24 mostra a alocação final e as perdas por desbalanceamento da linha.

### Arranjando os estágios

Até aqui, foi pressuposto que todos os estágios necessários aos requisitos do arranjo físico serão arranjados em uma linha única seqüencial.

Isso, entretanto, não necessariamente precisa ser assim. Retornemos ao exemplo do processamento do empréstimo que requer quatro estágios que trabalham na tarefa de manter um ciclo de uma solicitação processada a cada 15 minutos. O arranjo convencional dos quatro estágios seria ordená-los em uma linha, com cada estágio tendo um conteúdo de trabalho de 15 minutos. Entretanto, nominalmente, a mesma taxa de saídas também poderia ser obtida arranjando os quatro estágios em duas linhas mais curtas, cada uma com um conteúdo de trabalho de 30 minutos. Alternativamente, seguindo a lógica, os estágios poderiam ser arranjados em quatro linhas paralelas, cada uma responsável pelo conteúdo de trabalho total de processar uma solicitação. A Figura 7.25 mostra essas opções.





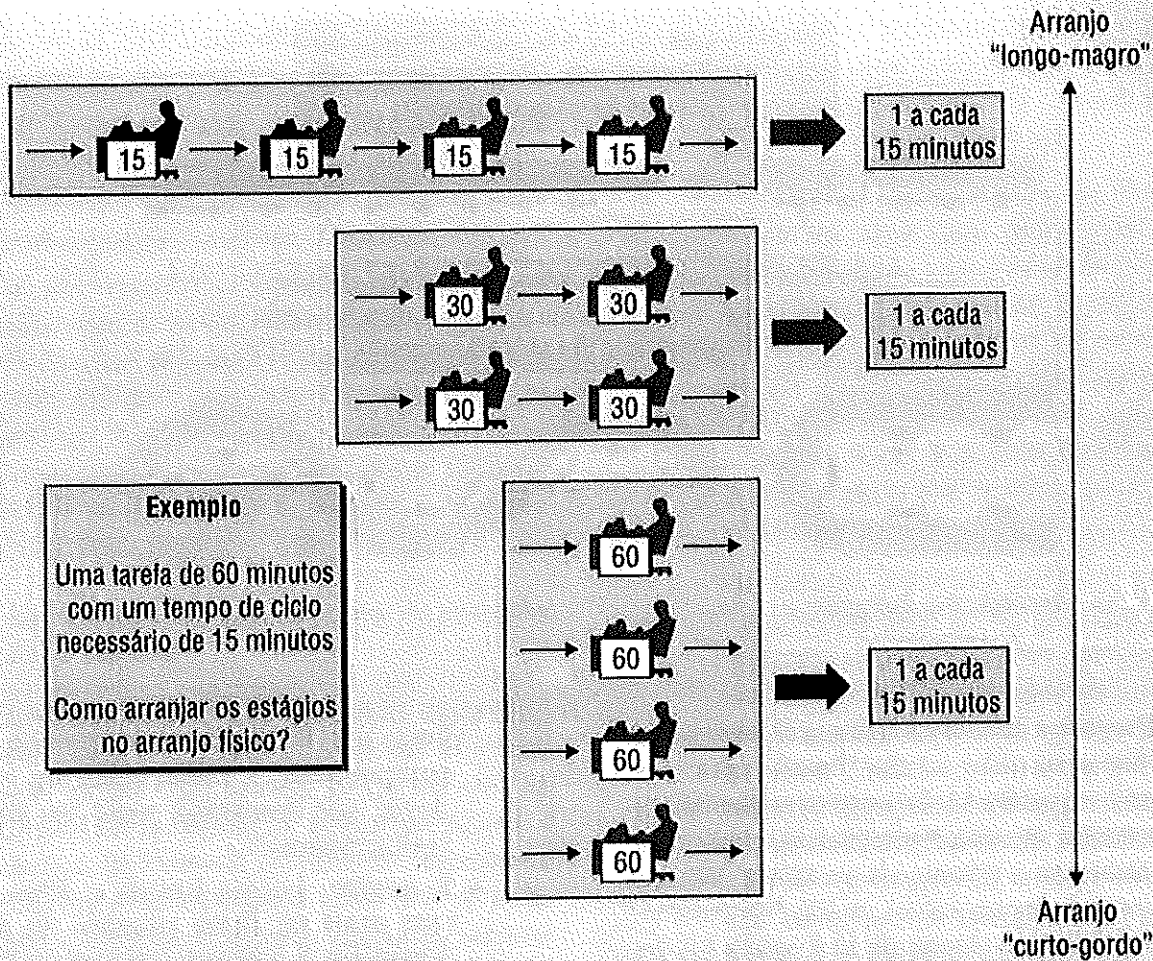
**Figura 7.24** Alocação de elementos a estágios e perdas por balanceamento para Bolos Karlstad.

Isso pode ser um exemplo simples, mas representa uma questão plausível e genuína. Deveria o arranjo físico ser configurado como uma linha “longa e magra”, como uma linha “curta e gorda” ou como algo entre essas duas opções extremas? (Note que a “longa” significa número de estágios e “gorda” significa a quantidade de trabalho alocada a cada estágio.) Em qualquer situação particular, há normalmente restrições técnicas que limitam o quanto “longo e magro” ou “curto e gordo” o arranjo físico pode ser, mas normalmente ainda sobra uma faixa de possibilidades dentro das quais a escolha deve ser feita. As vantagens de cada extremo do espectro longo-magro até curto-gordo são bastante diferentes e ajudam a explicar o porquê de determinados arranjos serem escolhidos.

*As vantagens do arranjo longo-magro*

Entre elas, encontram-se:

- Fluxo controlado de materiais e clientes – o qual é mais fácil de gerenciar.
- Manuseio simples de materiais – especialmente se o produto manufaturado é pesado ou difícil de mover.
- Requisito de capital mais moderado – Se um equipamento especial é necessário em um elemento do trabalho, apenas uma unidade do equipamento necessitaria ser comprada; em configurações curtas-gordas, cada estágio necessitaria de uma.
- Operação mais eficiente – se cada estágio executa apenas uma parte pequena do trabalho total, a pessoa responsável pelas atividades desse estágio terá uma proporção maior de trabalho direto produtivo, diferentemente das partes não produtivas do trabalho, como apanhar ferramentas e materiais.



**Figura 7.25** O arranjo de estágios no arranjo físico por produto pode ser descrito com um espectro de "longo-magro" a "curto-gordo".

Este último ponto é particularmente importante e é explicado em detalhes no Capítulo 9, onde se discute o projeto do trabalho.

#### As vantagens do arranjo curto-gordo

Algumas vantagens são:

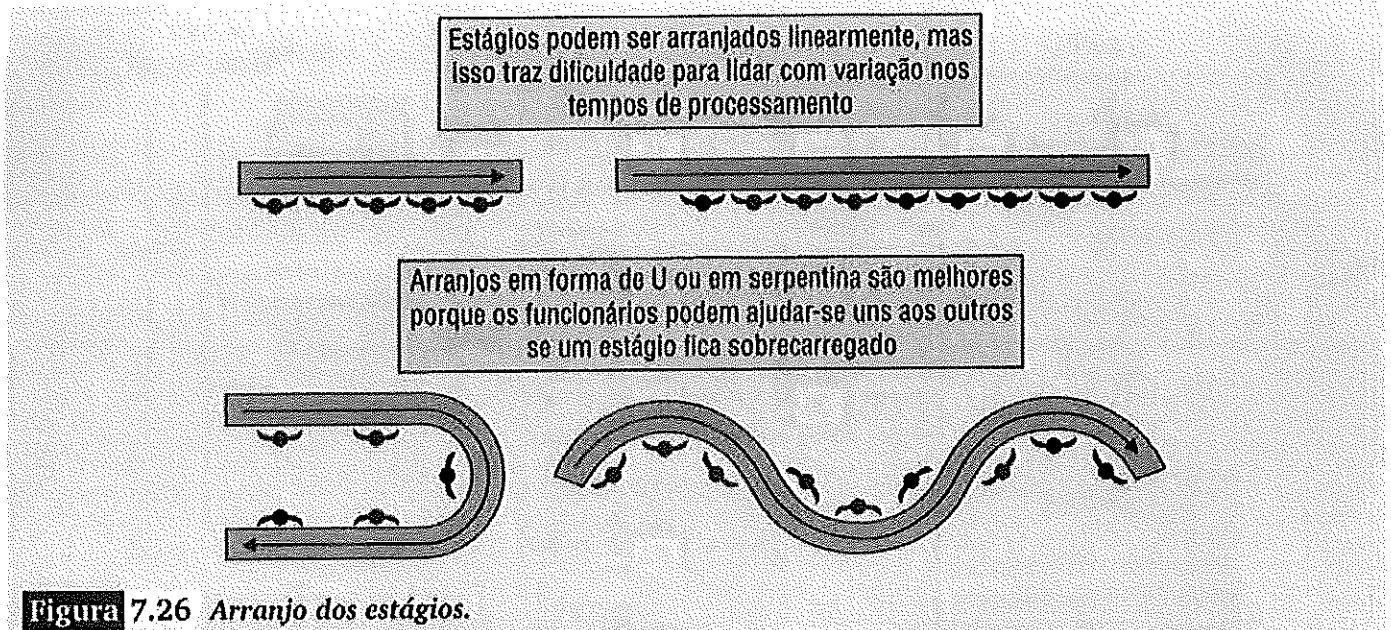
- *Maior flexibilidade de mix* – se o arranjo físico necessita produzir vários tipos de produtos ou serviços diferentes, cada estágio ou linha poderia especializar-se em tipos diferentes.
- *Maior flexibilidade de volume* – À medida que os volumes variam, estágios podem simplesmente ser eliminados ou formados conforme necessário; arranjos longos-magros necessitam ser rebalanceados a cada vez que os tempos de ciclo mudam.

- *Maior robustez* – Se um estágio quebra ou pára de operar, de certa forma os estágios paralelos não são afetados; um arranjo longo-magro pararia de operar por completo.
- *Trabalho menos monótono* – No exemplo do empréstimo, a mão-de-obra no arranjo curto-gordo repete sua tarefa a cada hora, enquanto, no arranjo longo-magro, isso ocorre a cada 15 minutos.

Novamente, este último ponto é particularmente importante, e será tratado com maior detalhe no Capítulo 9.

#### Forma da linha

Quando se decide adotar um arranjo que envolve fluxo seqüencial entre estágios arranja-



dos em série, uma decisão adicional é necessária: a de que forma de linha adotar. Parcialmente inspiradas pela experiência de empresas manufatureiras japonesas, muitas operações de manufatura estão adotando a prática de encurvar arranjos de linha para a forma de U ou de “serpentina” (veja Figura 7.26). A forma de U é usada em geral para linhas mais curtas enquanto serpentinhas são usadas para linhas mais longas. Richard Schonberger, um especialista em manufatura japonesa, vê várias vantagens nisso:<sup>9</sup>

- *Flexibilidade e balanceamento de mão-de-obra.* A forma de U permite que uma pessoa trabalhe em várias estações de trabalho – adjacentes ou cruzando o U – sem ter de caminhar muito. Isso abre opções para um melhor balanceamento entre pessoas: quando a demanda cresce, mais mão-de-obra pode ser acrescentada, até que uma pessoa esteja ocupando cada estação de trabalho.
- *Retrabalho.* Quando a linha se curva sobre si própria, é mais fácil retornar trabalho defeituoso para uma estação anterior para retrabalho, sem muito estardalhaço e sem muita necessidade de caminhar.
- *Manuseio.* Da posição central do U, o manuseio do material e de ferramentas

(seja ele feito por uma pessoa ou por equipamento – robô, talha ou empilhadeira, por exemplo) pode ser feito convenientemente.

- *Passagem.* Linhas longas e retas interferem mais no fluxo cruzado do resto da operação. É irritante quando as gôndolas dos supermercados são muito longas. As pessoas protestam quando uma auto-estrada corta uma cidade em duas. É o mesmo com linhas de produção.
- *Trabalhos em grupo.* Um semicírculo até mesmo se parece com um time.

## RESUMO DAS RESPOSTAS A QUESTÕES-CHAVES

**Quais são os tipos de arranjo físico básicos usados em produção?**

- Existem quatro arranjos físicos básicos:
  - arranjo físico posicional;
  - arranjo físico por processo;
  - arranjo físico celular;
  - arranjo físico por produto.

**Que tipo de arranjo físico uma operação produtiva deveria escolher?**

- Em parte, isso é influenciado pela natureza do tipo de processo, que, por sua vez,

<sup>9</sup> SCHONBERGER, R. Building a chain of customers. Hutchinson Business Books, 1990.

depende das características de volume e variedade da operação.

- Em parte, também, a decisão dependerá dos objetivos da operação. Custo e flexibilidade são particularmente afetados pela decisão sobre o arranjo físico.
- Os custos variáveis e fixos implícitos por cada arranjo físico diferem tanto que, em teoria, um arranjo físico particular terá custo mínimo para determinado nível de volume. Na prática, entretanto, incertezas sobre o custo real envolvidas nos arranjos físicos tornarão difícil precisar qual o arranjo físico que terá custo mínimo.

### O que se deseja alcançar com o projeto do arranjo físico?

- Adicionalmente aos objetivos operacionais convencionais que serão afetados pelo projeto do arranjo físico, fatores de importância incluem o comprimento e clareza do fluxo de informação, material e consumidor; segurança para os funcionários e/ou consumidores; conforto para os funcionários, acessibilidade para funcionários e consumidores; habilidade de coordenar decisões gerenciais; uso do espaço; e flexibilidade de longo prazo.

### Como deveria ser o projeto detalhado de cada arranjo físico?

- Obviamente, isso depende muito do tipo de arranjo físico escolhido.
- No arranjo físico posicional, os materiais ou pessoas sendo transformadas não se movem, mas os recursos transformadores movem-se ao redor delas. Técnicas raramente são usadas nesse tipo de arranjo físico, mas algumas, como a análise de recursos locais, trazem uma abordagem sistemática para minimizar custos e inconveniências no fluxo em uma posição fixa.
- No arranjo físico por processo, todos os recursos transformadores similares são agrupados juntos na operação. A tarefa do projeto detalhado visa geralmente (embora nem sempre) minimizar as distâncias percorridas pelos recursos trans-

formadores ao longo da operação. Tanto métodos manuais como baseados em computador podem ser usados na elaboração do projeto detalhado.

- No arranjo físico celular, os recursos necessários para uma classe particular de produtos estão agrupados de alguma forma. A tarefa de detalhar o projeto é agrupar os tipos de produtos ou consumidores de tal forma que possam ser projetadas células convenientes a suas necessidades. Técnicas como a análise de fluxo de produção podem ser usadas para alocar os produtos às células.
- No arranjo físico por produto, os recursos transformadores estão localizados em sequência, especificamente por conveniência dos produtos ou tipos de produtos. O projeto detalhado do arranjo físico por produto inclui um número de decisões, como o tempo do ciclo a que o projeto precisa conformar-se, o número de estágios da operação, a forma como as tarefas são alocadas aos estágios na linha e o arranjo dos estágios na linha. O tempo de ciclo de cada parte do projeto, juntamente com o número de estágios, é uma função de onde o projeto situa-se no espectro dos arranjos "longo-magro" a "curto-gordo". Essa posição afeta os custos, a flexibilidade, a robustez e a atitude dos funcionários. A alocação de tarefas nos estágios é chamada balanceamento de linha, que pode ser desempenhada tanto manualmente ou por meio de algoritmos computadorizados.

## ESTUDO DE CASO

### Ferramentas Weldon

Ferramentas Weldon, um dos fabricantes de ferramentas manuais de maior sucesso na Europa, decidiu entrar no mercado de ferramentas para trabalho em madeira. Previamente, seus produtos se restringiam a ferramentas para manutenção de automóveis, ferramentas domésticas e ferramentas manuais de uso geral. Um dos primeiros produtos que a Weldon decidiu fabricar foi uma plaina de uso geral, uma ferramenta que alisa e conforma superfícies de madeira. Seus projetistas de produ-

to haviam desenvolvido um projeto adequado e os técnicos de tempos e métodos da empresa já haviam estimado o tempo (em minutos-padrão) que levaria para executar cada uma das operações da montagem. O departamento de marketing também já havia estimado a provável demanda (para todo o mercado europeu) para o novo produto. A previsão de vendas é mostrada na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 Previsão de vendas para plaina de madeira.

Período	Volume
<b>Ano 1</b>	
Primeiro trimestre	98.000 unidades
Segundo trimestre	140.000 unidades
Terceiro trimestre	140.000 unidades
Quarto trimestre	170.000 unidades
<b>Ano 2</b>	
Primeiro trimestre	140.000 unidades
Segundo trimestre	170.000 unidades
Terceiro trimestre	200.000 unidades
Quarto trimestre	230.000 unidades

O departamento de marketing, entretanto, não estava completamente confiante nas previsões.

*"Uma proporção substancial da demanda provavelmente será devida a exportações, as quais nós achamos difícil de prever. Mas qualquer que seja a demanda, teremos de reagir rápido para atendê-la. Quanto mais entramos nessa parte do mercado, mais estamos num mercado de compra de impulso e mais vendas perderemos se não conseguirmos suprir os pontos de venda."*

Essa plaina era provavelmente a primeira de muitas outras similares. Um modelo adicional já havia sido aprovado para lançamento aproximadamente um ano após o lançamento desta, e dois ou três outros modelos encontravam-se no estágio de planejamento. Todas as plainas eram iguais, variando apenas em largura e comprimento.

#### Projetando a operação de manufatura

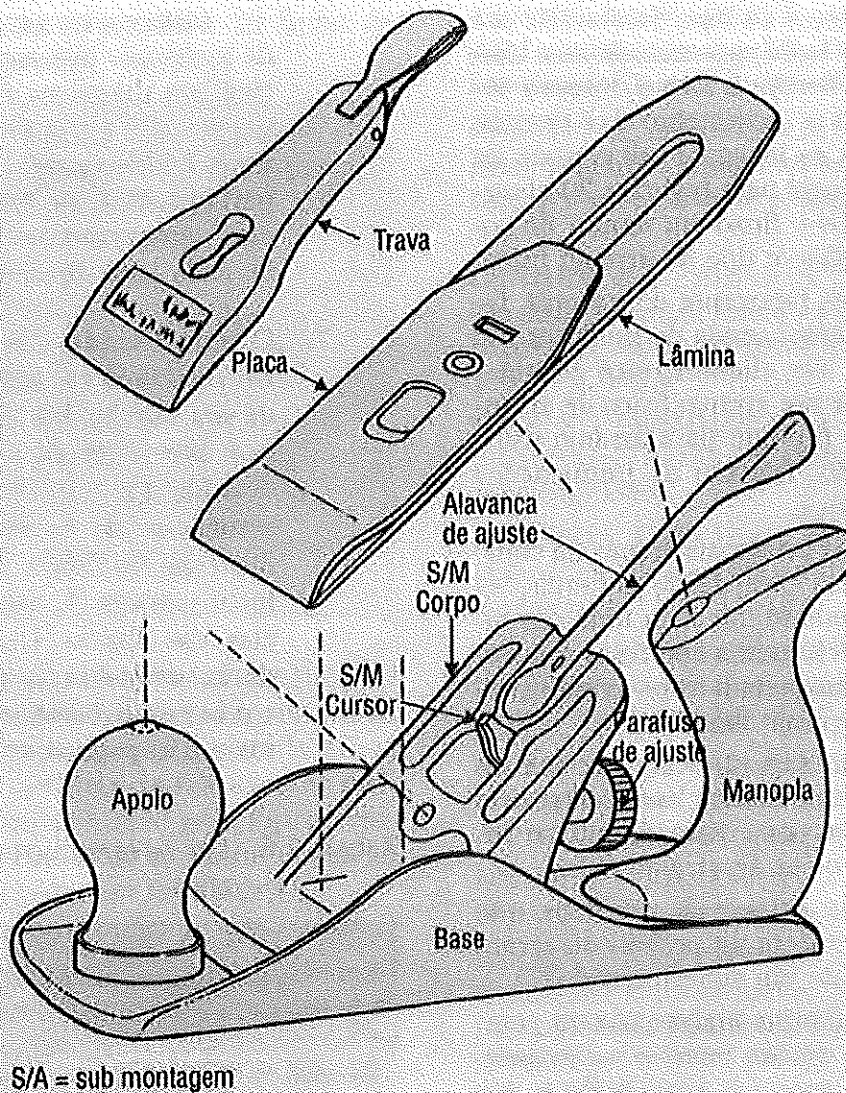
Foi decidido que a montagem das plainas seria feita na fábrica menor da empresa, na qual um setor inteiro estava sem uso. Dentro desse setor, há espaço suficiente para expansões caso a demanda se mostre mais alta que as previsões. Todas as operações de usinagem e acabamento das peças seriam executadas na fábrica principal e as peças seriam transportadas para a fábrica menor, onde seriam montadas.

Tabela 7.4 Tempos-padrão para cada elemento da tarefa de montagem em minutos-padrão (MP).

Operação de prensa mecânica	
Montar sub-montagem (S/M) (cursor esquerdo, cursor direito, cupilha)	0,12 MP
Ajustar S/M cursor ao corpo (cursor S/M, pino do cursor, corpo)	0,10 MP
Rebitar alavanca de ajuste ao corpo (alavanca de ajuste, rebite, corpo)	0,15 MP
Montar parafuso ao corpo por interferência (corpo, parafuso de ajuste)	0,08 MP
<b>TOTAL DA OPERAÇÃO DE PRENSA MECÂNICA</b>	<b>0,45 MP</b>
Operação de bancada	
Montar botão de ajuste ao carro	0,15 MP
Montar parafuso ao carro	0,05 MP
<b>SEMI-ACABADO CARRO PRONTO</b>	
Montar apoio à base	0,15 MP
Montar manopla à base	0,17 MP
Montar S/M carro à base	0,15 MP
Montar S/M lâmina	0,08 MP
Montar S/M lâmina, a trava e a etiqueta à base	0,20 MP
<b>PLAINA PRONTA</b>	
<b>TOTAL OPERAÇÕES DE PRENSA E MONTAGEM</b>	<b>1,40 MP</b>
Montar caixa, embalar plaina e estocar	0,20 MP
<b>TOTAL TRABALHADO – ÁREA DE MONTAGEM</b>	<b>1,60 MP</b>

MP = minutos-padrão

Uma idéia da operação de montagem pode ser dada pela vista parcialmente explodida do produto (veja Figura 7.27). A Tabela 7.4 traz os tempos-padrão para cada elemento da tarefa de montagem. Algumas das operações são descritas como operações de prensa mecânica. Uma prensa mecânica é uma ferramenta relativamente simples, em torno de 1 metro de altura, que tem duas massas montadas em uma rosca sem fim. Quando as duas massas giram, acarretam um momento que aplica a força de prensagem para baixo. Essa força é usada para operações simples como dobramento, rebitagem, ou montagem por interferência. Uma prensa mecânica não é uma ferramenta de tecnologia sofisticada ou cara.



**Figura 7.27** Vista parcialmente explodida da nova plaina.

### Custo e preço

O sistema de custeio-padrão da empresa envolvia a adição de 150% aos custos diretos de mão-de-obra como custos gerais de produção e o produto era vendido na Europa pelo equivalente a 35 dólares americanos. Os revendedores geralmente colocavam um sobrepreço de 70-120% do preço cobrado pelo fabricante.

### Questões

1. Quantos funcionários diretos a empresa deveria contratar?
2. Que tipo de instalação e tecnologia a empresa deveria adquirir para montar esse tipo de produto?
3. Projete um arranjo físico para a operação de montagem (incluindo o trabalho de prensa mecânica), considerando as tarefas que devem ser executadas em cada parte do sistema.

4. Como o arranjo físico deveria ser ajustado à medida que a demanda por ele e outros produtos similares crescesse?

### QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

1. Identifique o tipo de arranjo físico que deveria ser adotado pelas seguintes organizações justificando:
  - uma estação de esqui;
  - uma fazenda de gado leiteiro;
  - uma empresa de jardinagem;
  - uma padaria;
  - um banco.

Discuta as implicações de variedade e volume do fluxo.

2. Faça um croqui da loja, lanchonete ou recepção do setor esportivo de sua Universidade. Observe a área e desenhe sobre o croqui o movimento das pessoas sobre a área ao longo de um período de tempo suficiente para registrar 20 observações. Avalie o fluxo em termos de volume, variedade e tipo de arranjo físico.
3. Uma empresa fabricante de tratores, fazendo uma faixa ampla de produtos sob encomenda dos clientes, está considerando alterar seu arranjo físico de arranjo físico por produto para arranjo físico por processo. Discuta as implicações dessa mudança.
4. Identifique as principais etapas na construção de uma casa, desde as fundações até o acabamento. Se cada uma das tarefas fosse delegada a empresas subcontratadas, quais seriam os potenciais problemas de arranjo físico?
5.
  - a. Visite um supermercado de sua região. Tente marcar uma entrevista com o gerente, para discutir o assunto projeto de arranjo físico.
  - b. Quais os principais critérios que você considera no projeto do arranjo físico de um supermercado?
  - c. Que mudanças ambientais ou competitivas podem resultar na necessidade de mudar o arranjo físico dos supermercados do futuro? Essas mudanças aplicam-se a todos os supermercados ou apenas a alguns, como os pequenos supermercados de bairro?
6. O fluxo de materiais através de oito departamentos é mostrado na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 Fluxo de materiais.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
D1	\	30						
D2	10	\	15	20				
D3		5	\	12	2		15	
D4		6		\	10	20		
D5				8	\	8	10	12
D6	3				2	\	30	
D7	3					13	\	2
D8				10	6		15	\

Assumindo que a direção do fluxo de materiais não seja importante, construa um diagrama de relacionamentos, um arranjo físico esquemático e um arranjo físico sugerido, dado que cada departamento é do mesmo tamanho e os oito departamentos devem estar quatro de cada lado do corredor.

7. O centro acadêmico estudantil de uma Universidade vai refazer o arranjo físico de seu saguão. Foi identificado que grupos diferentes de estudantes usam os dois bares e as quatro máquinas de conveniências de formas diferentes, como ilustrado na Tabela 7.6. O centro acadêmico gostaria de agrupar as conveniências em duplas. Quais sugestões você daria, sabendo que o bar de sanduíches e o bar de bebidas estão em lados opostos e não podem ser alterados?

Tabela 7.6 Uso de conveniências no centro acadêmico.

Facilidade	Tipo de estudante					
	1	2	3	4	5	6
Máquina de refrigerantes			X	X		X
Bar de bebidas		X	X			
Máquina de bebidas quentes	X		X		X	
Máquina de cigarro		X	X			
Bar de sanduíches	X				X	
Máquina de chocolate				X		X

8. A Tabela 7.7 mostra 12 elementos de trabalho que se constituem no conteúdo total de trabalho de uma tarefa de montagem. Usando a informação sobre tempos de duração e sobre as precedências na tabela, desenhe um diagrama de precedências e desenhe uma linha de montagem para produzir o mais próximo possível de (mas não menos do que) três itens por hora. Calcule a perda por balanceamento da linha.
9. Visite uma fábrica que tenha linhas de montagem e observe a forma das linhas. Descubra o porquê de as linhas terem as formas observadas.

Tabela 7.7 Conteúdo de trabalho da linha de montagem.

Elemento número	Duração (min)	Elemento(s) precedente(s)
1	4	-
2	7	-
3	5	1
4	6	1,2
5	4	2
6	3	2
7	4	3
8	6	4,5
9	5	5,6
10	4	9
11	6	8,10
12	6	7,11

10. Uma fábrica de bicicletas atualmente tem um processo de montagem em linha de 20 etapas; com a matéria-prima vindo por um lado da fábrica e as bicicletas acabadas saindo pelo outro. Avalie as implicações de se alterar o arranjo físico para linha em forma de U.
11. Observe a preparação de uma refeição em uma cozinha (faça você mesmo ou observe outra pessoa fazendo). Represente graficamente o movimento ao redor da cozinha e sugira formas de melhoria no arranjo físico da cozinha.
12. Identifique duas operações de serviço que usem um arranjo físico por produto. Discuta as implicações dessa escolha para a organização e para o cliente.
13. Selecione uma empresa de sua escolha e submeta seu arranjo físico a uma avaliação baseada na lista contida na seção deste capítulo "Que faz um bom arranjo físico?"

## LEITURAS COMPLEMENTARES SELECIONADAS

BRANDON, J. A. *Cellular manufacturing: integrated technology and management*, New York: John Wiley, 1996.

FRANCIS, R. L.; WHITE, J. A. *Facility layout and location: an analytical approach*. Prentice Hall, 1987.

GAITHER, N.; FRAZIER, B. V.; WEI, J. C. From job shop to manufacturing cells. *Production and Inventory Management Journal*, v. 31, nº 4, 1990.

GREEN, T. J.; SADOWSKY, R. P. A review of cellular manufacturing assumptions and advantages and design techniques. *Journal of Operations Management*, v. 4, nº 2, 1984.

GUNTHER, R. E.; JOHNSON, G. D.; PETERSON, R. S. Currently practiced formulations of the assembly line balance problem. *Journal of Operations Management*, v. 3, nº 3, 1983.

HYER, N. L.; WEMMERLOV, U. Group technology and productivity. *Harvard Business Review*, v. 62, nº 4, July/Aug. 1984.

KARLSSON, C. Radically new production systems. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 16, nº 11, 1996.

MALAS, G. H. Assembly line balancing: let's remove the mystery. *Journal of Industrial Engineering*, May 1990.

MELLOR, R. D.; GAU, K. Y. The facility layout problem: recent and emerging trends and perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 29, nº 5, 1996.

MILLER, J. G.; VOLLMANN, T. E. The hidden factory. *Harvard Business Review*, Sept./Oct., v. 63, nº 5, 1985.

PRICKETT, P. E. Cell-based manufacturing systems: design and implementation. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 14, nº 2, 1994.

SCHULER, R. S.; WRITZMAN, L. P.; DAVIS, V. L. Merging prescriptive and behavioural approaches for office layout. *Journal of Operations Management*, v. 1, nº 3, 1981.

SCHAFFER, S. M.; MEREDITH, J. R. An empirically based simulation study of functional versus cellular layouts with operations overlapping. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 13, nº 2, 1993.

SHAMBU, G.; SURESH, N. C.; PEGELS, C. C. Performance evaluation of cellular manufacturing systems. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 16, nº 8, 1996.

SULE, V. E. *Manufacturing facilities: location planning and design*. PWS-Kent, 1988.

WINARCHIK, C.; CALDWEL, R. D. Physical interactive simulation: a hands-on approach to facilities improvements. *IIE Solutions*, v. 29, nº 5, 1997.

WU, B. *Manufacturing system design and analysis*. 2. ed. Chapman and Hall, 1994.

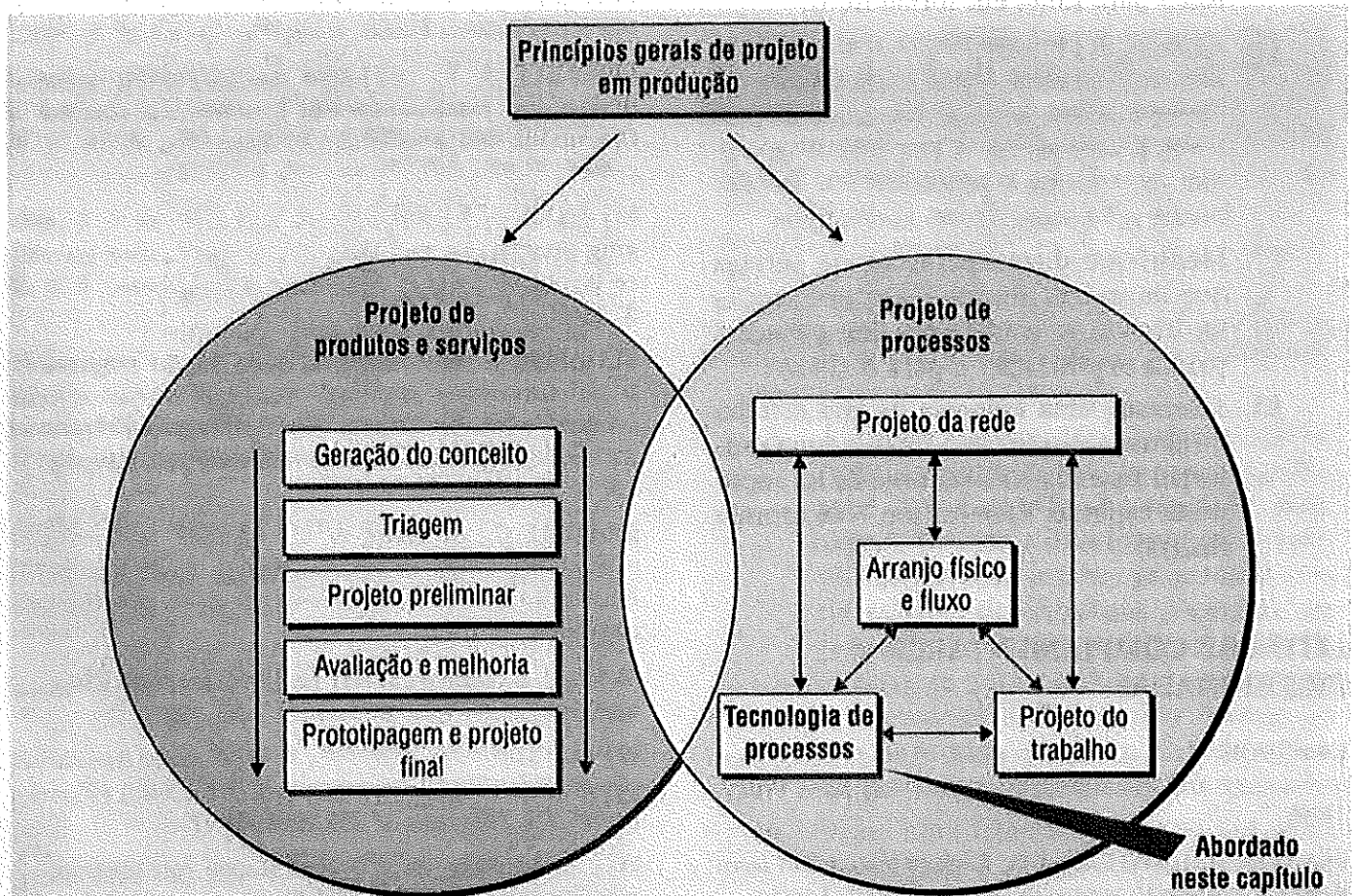


# Tecnologia de Processo

## INTRODUÇÃO

Todas as operações usam algum tipo de tecnologia de processo. Seja sua tecnologia de processo um humilde processador de texto ou a mais complexa e sofisticada das fábricas automatizadas, a operação terá escolhido usar a tecnologia porque espera tirar proveito dela. Algumas vezes, a tecnologia de processo ajuda a produção a atender uma clara necessidade do mercado; em outras ocasiões, torna-se disponível e uma opera-

ção escolhe adotá-la na expectativa de que possa explorar seu potencial de alguma forma, mesmo que ainda não de forma predefinida. Qualquer que seja a motivação, todavia, todos os gerentes de produção precisam entender o que as tecnologias emergentes podem fazer, que vantagens podem ser dadas e que limitações ela pode impor à operação produtiva. Este é o propósito deste capítulo. A Figura 8.1 mostra como as questões cobertas relacionam-se com o modelo geral de projeto de operações produtivas.



**Figura 8.1** Atividades de projeto em administração de produção abordadas neste capítulo.