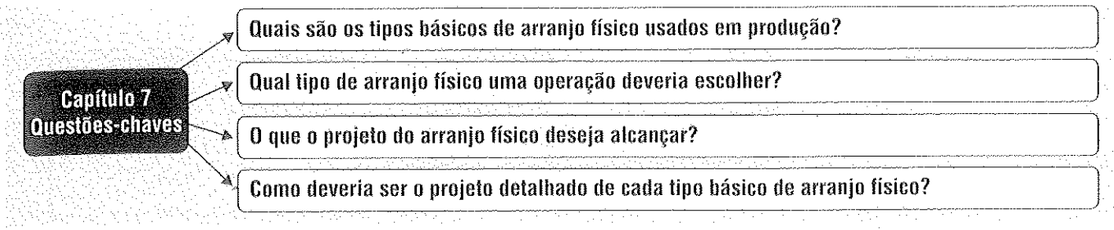
7

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 freqüentemente 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 freqüência. Ao mesmo tempo, eles não podem errar em sua decisão. A conseqüência 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, freqüentemente, 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.

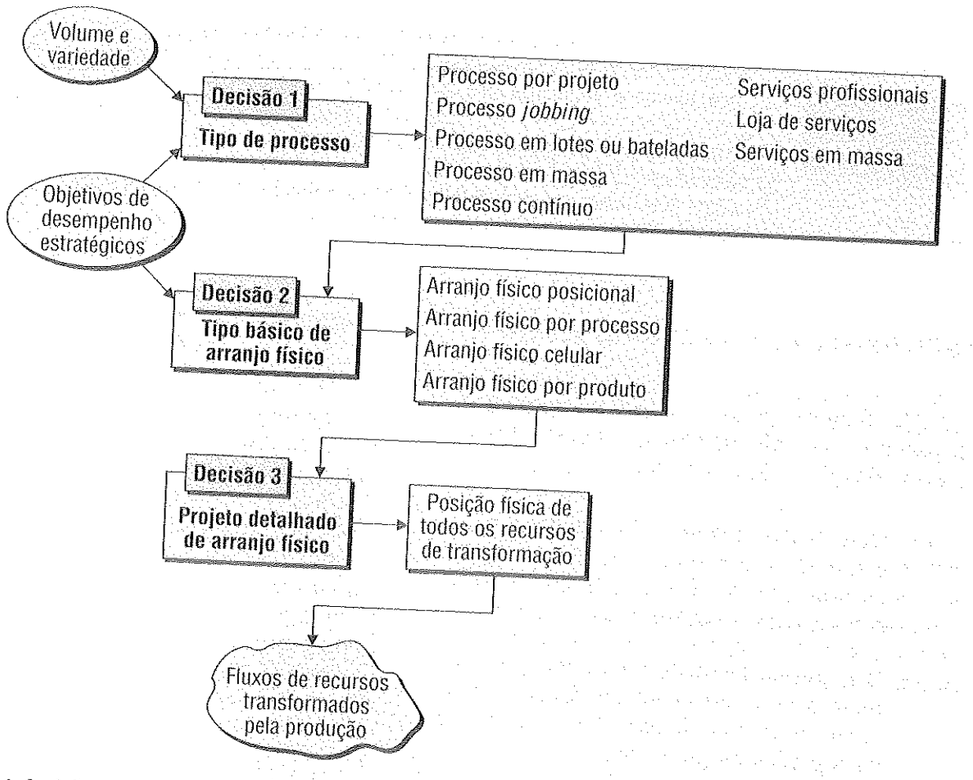


Figura 7.2 *A decisão de arranjo físico.*

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

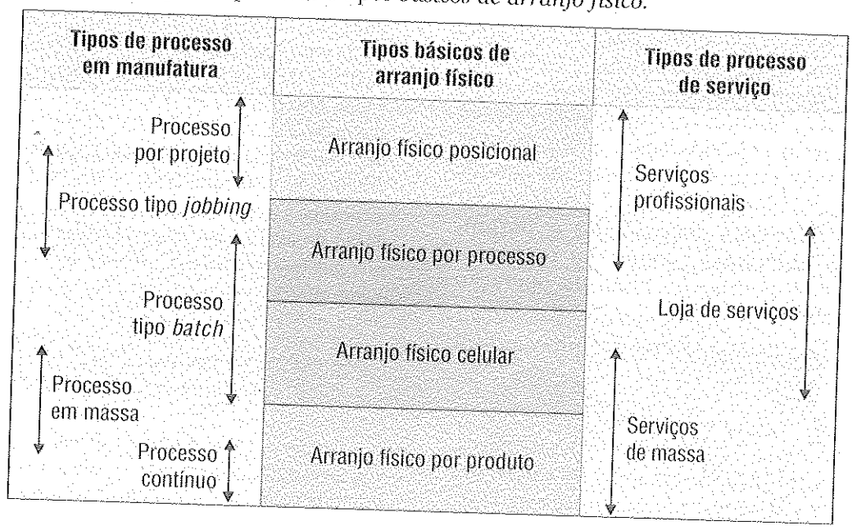
Embora a escolha do tipo básico de arranjo físico governe a maneira geral segundo a qual os recursos vão ser arranjados uns em relação aos outros, ela não define precisamente a posição exata de cada elemento da operação. O estágio final na atividade de definição do arranjo físico é a definição do projeto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



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-

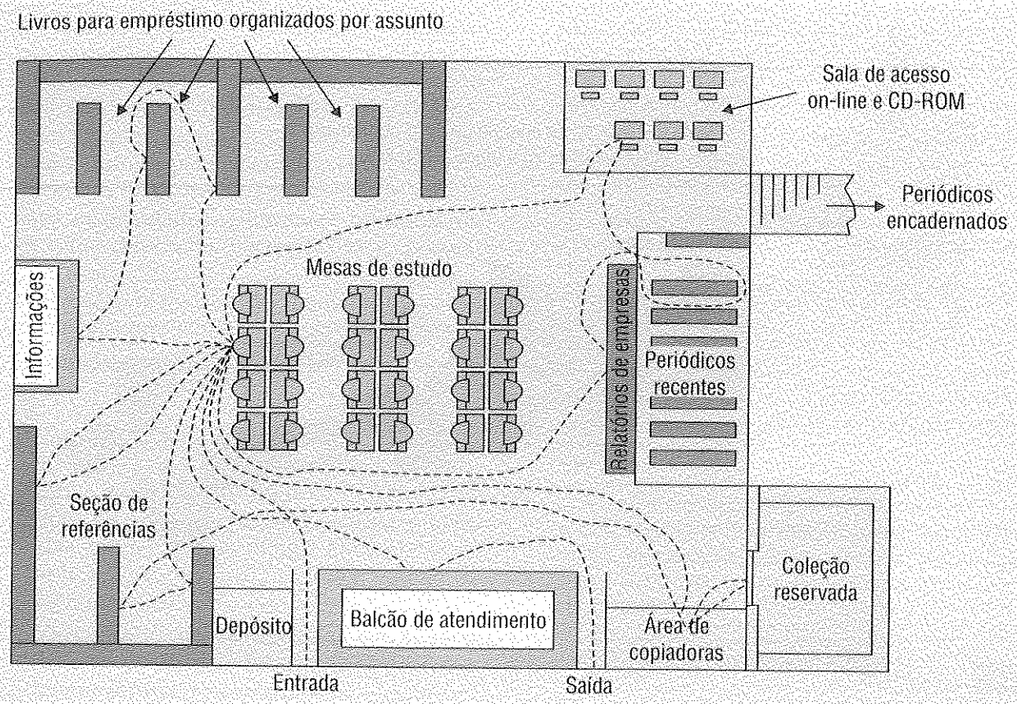


Figura 7.4 *Exemplo de arranjo físico por processo em uma biblioteca mostrando o caminho de apenas um cliente.*

- *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 compensador 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.

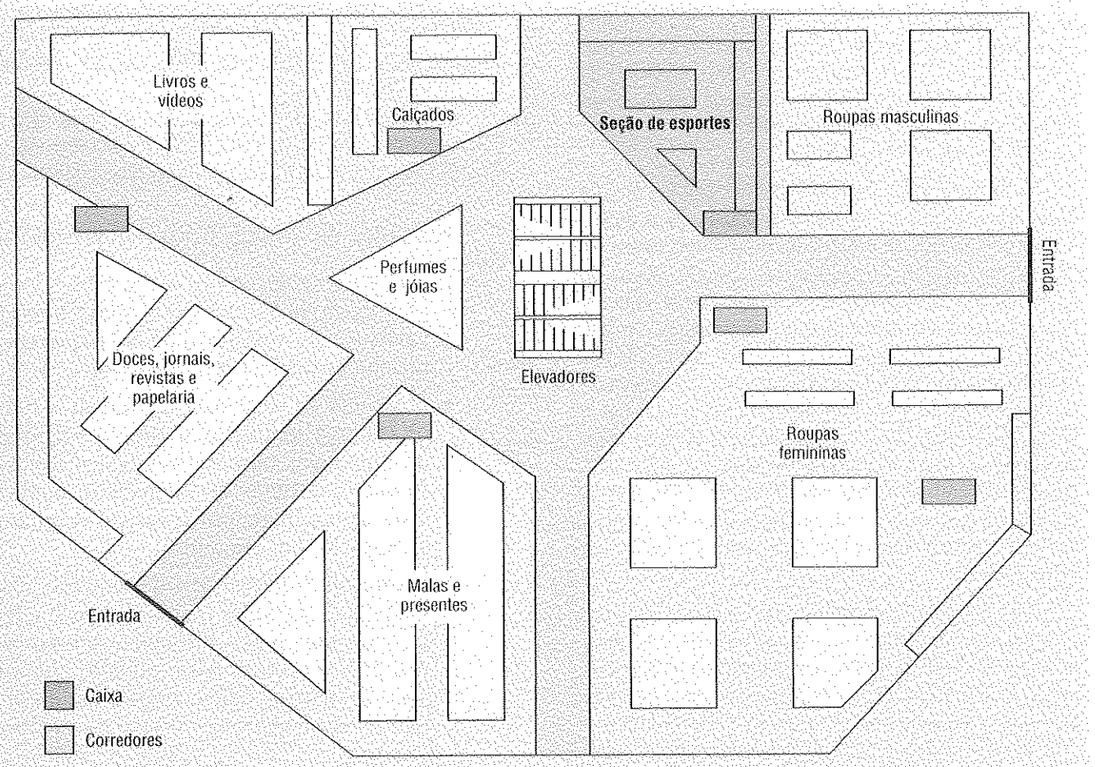


Figura 7.5 *Piso térreo de loja de departamentos mostrando a "loja-dentro-da-loja" ou célula de artigos desportivos.*

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[2]

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

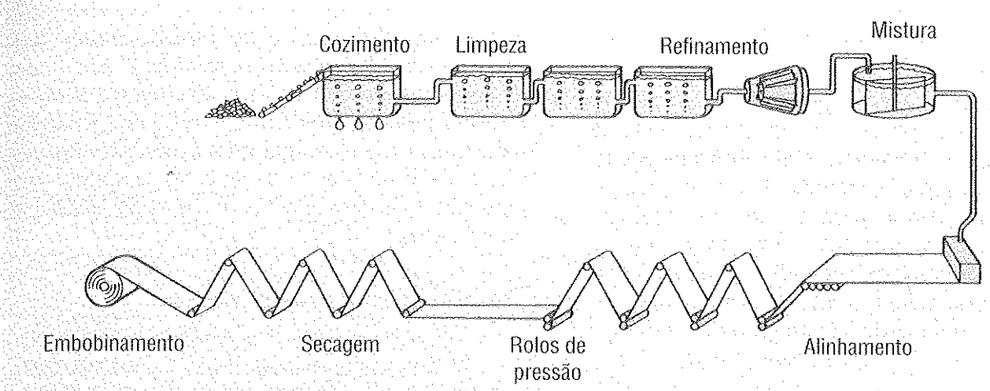


Figura 7.6 *Seqüência de processos na manufatura de papel. Cada processo será arranjado fisicamente com a mesma seqüência.*

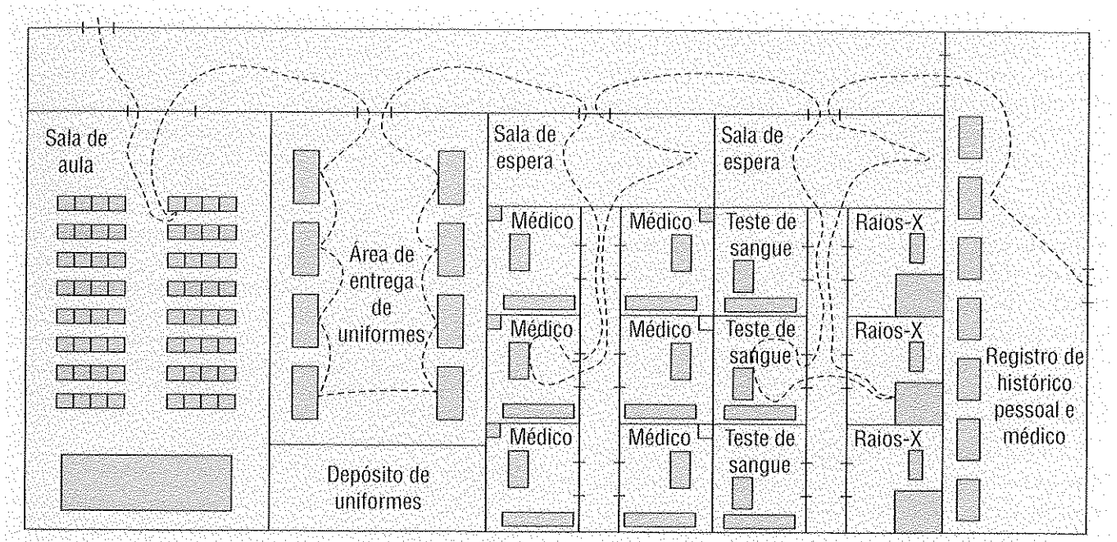


Figura 7.7 *Um centro de alistamento militar usando arranjo físico por produto.*

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.[3]

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

3 *Paper and the Environment*. Arjo Wiggins Fine Papers, usado com permissão, 1991.

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 bandejão (como os restaurantes por quilo), todos os clientes passam pelo mesmo roteiro quando estão servindo-se. Eles podem não se servir de todos os pratos disponíveis, mas mover-se-ão na mesma 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[4]

Fluxo de chocolate

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

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.

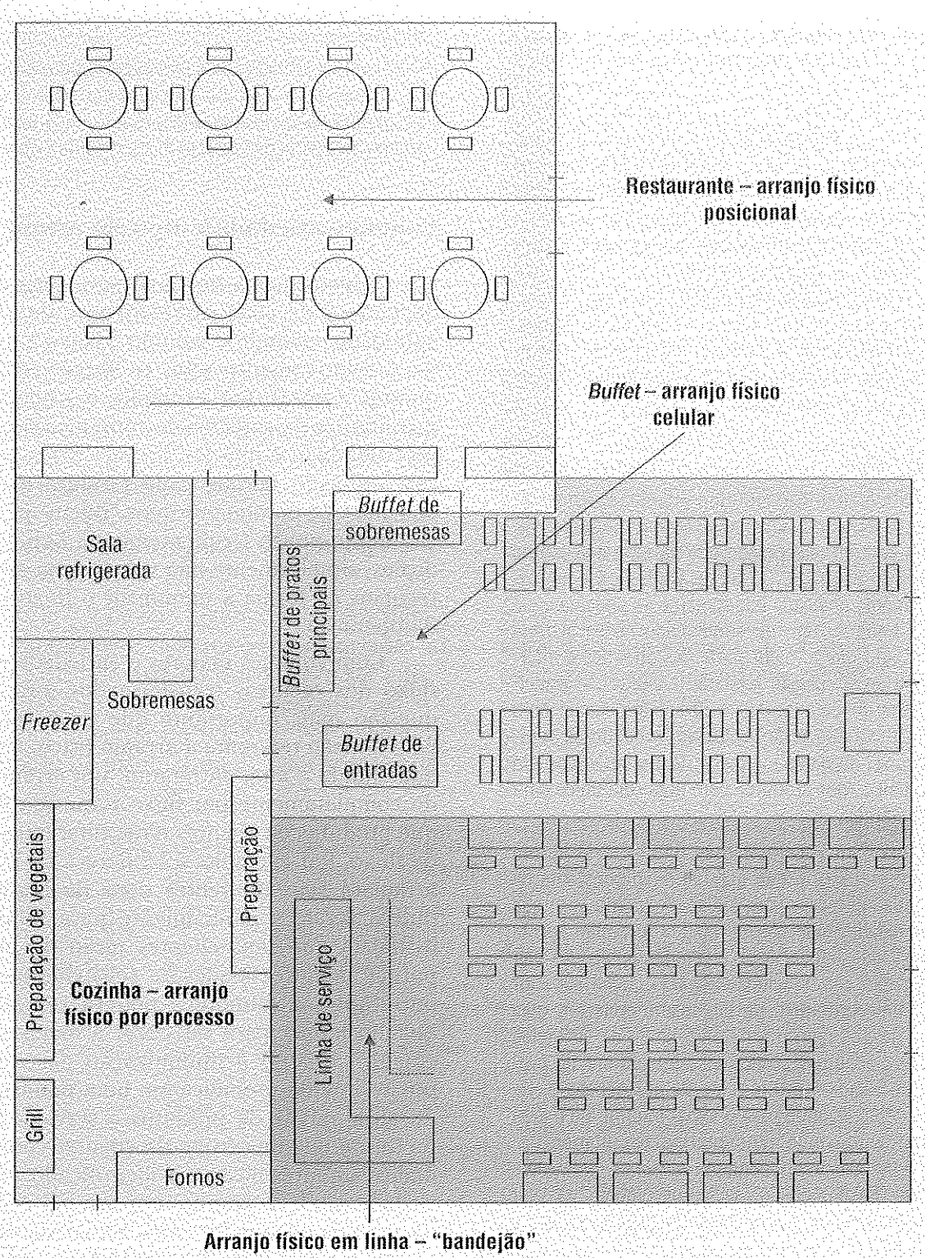


Figura 7.8 *Complexo de restaurantes com os quatro tipos básicos de arranjo físico.*