

MODELO CONCEITUAL E RECOMENDAÇÕES PARA PROJETO DE ARRANJO FÍSICO DE FÁBRICA

Luiz Henrique Moraes (usp)

lmoraes@ford.com

Miguel Cezar Santoro (usp)

santoro@usp.br



Este trabalho tem como objetivo apresentar um modelo conceitual para o projeto de arranjo físico de fábrica, incluindo uma hierarquia com diversos níveis de detalhamento e uma estrutura para os desenhos relacionados a tais níveis. Tal modelo possui ênfase normativa e prática e poderá servir como uma diretriz para o projeto de arranjo físico em empresas industriais.

Palavras-chaves: Arranjo físico de fábrica, Plant Layout, Projeto de Fábrica, Projeto de Sistemas de Produção.

1. Introdução

O arranjo físico de fábrica afeta o desempenho de uma empresa de diversas maneiras: (a) permite minimizar distâncias percorridas por pessoas, veículos e equipamentos; com isso, a necessidade por tais recursos é reduzida, melhorando-se assim o custo de movimentação; também se evitam problemas de qualidade e acidentes de trabalho decorrentes do processo de movimentação; (b) o fluxo de materiais torna-se mais claro e eficaz, melhorando não apenas velocidade e confiabilidade de entrega, mas também a rastreabilidade de lotes em processamento; (c) é possível melhorar as condições de ergonomia e segurança de operadores mediante um projeto melhorado do posto de trabalho. Tais aspectos do arranjo físico de fábrica justificam sua importância para uma empresa industrial, bem como a importância de se estabelecer métodos eficientes para o projeto do arranjo físico, e serviram como justificativa para a elaboração deste artigo.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um modelo conceitual para o projeto de arranjo físico de fábrica, incluindo uma hierarquia com diversos níveis de detalhamento e uma estrutura para os desenhos relacionados a tais níveis. Tal modelo possui ênfase normativa e prática e poderá servir como uma diretriz para o projeto de arranjo físico em empresas industriais. Para isso, serão inicialmente apresentados conceitos básicos relacionados a sistemas de produção e arranjo físico, para depois propor três níveis de detalhamento para o projeto de arranjo físico, recomendações práticas relacionadas a cada um destes níveis, e finalmente uma estrutura e diretrizes práticas para os desenhos de arranjo físico.

O escopo deste artigo limita-se às atividades de projeto de arranjo físico de fábrica – em muitas empresas e referências tais atividades são identificadas pelo termo em Inglês "plant layout design", ou simplesmente "plant layout" ou "layout", do qual se origina o termo equivalente em Português. Assim, não são consideradas neste artigo as atividades de arranjo físico de escritórios – Inglês "office layout" – e projetos de construção civil relacionados às áreas de produção.

É interessante apresentar alguns esclarecimentos relacionados aos termos utilizados no parágrafo anterior. O termo "plant" pode ser traduzido como "fábrica" ou "instalações", ou mesmo por "planta", embora o uso deste último termo com esse significado seja menos comum no Português; o termo "layout" pode ser traduzido como "arranjo físico". Assim, em termos linguísticos, o termo "plant layout" pode ser traduzido como "arranjo físico de fábrica" ou "arranjo físico de instalações"; entretanto, sob o ponto de vista técnico a primeira forma é mais correta e foi adotada nesse trabalho, pois o "plant layout" contempla não apenas instalações ou utilidades, mas também máquinas, equipamentos e postos de trabalho.

2. Tipos de sistemas de produção e arranjo físico

De acordo com Menipaz (1984), entre as disciplinas associadas ao projeto de um sistema de produção, destaca-se o projeto de arranjo físico, definido como o conjunto de atividades envolvidas na localização de departamentos de fabricação, linhas de produção, centros de trabalho, máquinas e funções auxiliares e na definição de rotas e meios de movimentação apropriados.

Para o mesmo autor, o projeto de arranjo físico busca minimizar custos de movimentação, reduzir o congestionamento de materiais e pessoas, incrementar a segurança, o moral e a comunicação, aumentar a eficiência de máquinas e mão-de-obra e apoiar a flexibilidade. Para tal, baseia-se principalmente na configuração do sistema de produção, que deve assumir uma das seguintes orientações básicas:

- a) Sistemas de produção contínuos ou orientados a produtos, também identificados pelo termo "produção contínua", são caracterizados por alto volume, baixa variedade, fluxo de materiais contínuo, máquinas especiais, aplicação intensiva de capital;
- b) Sistemas de produção intermitentes ou orientados a processos, ou simplesmente "produção intermitente", caracterizados por baixo volume, alta variedade, fluxo de materiais intermitente, máquinas universais, emprego intensivo de mão-de-obra.

Uma classificação análoga pode ser aplicada ao arranjo físico, considerando-se que volume e variedade normalmente são características antagônicas. Nesse aspecto, Slack *et al.* (1997) fornecem um gráfico associado à característica volume-variedade, conforme ilustrado na figura 1. Esse gráfico apresenta uma classificação para o arranjo físico, incluindo a configuração linear, associada a produção contínua, e as configurações posicional, funcional e celular, associadas a produção intermitente. Observe-se que, no gráfico, a associação entre tipos de arranjo físico e tipos de sistemas de produção apresentada não é fornecida por Slack *et al.* (1997), mas foi acrescentada pelos autores deste trabalho.

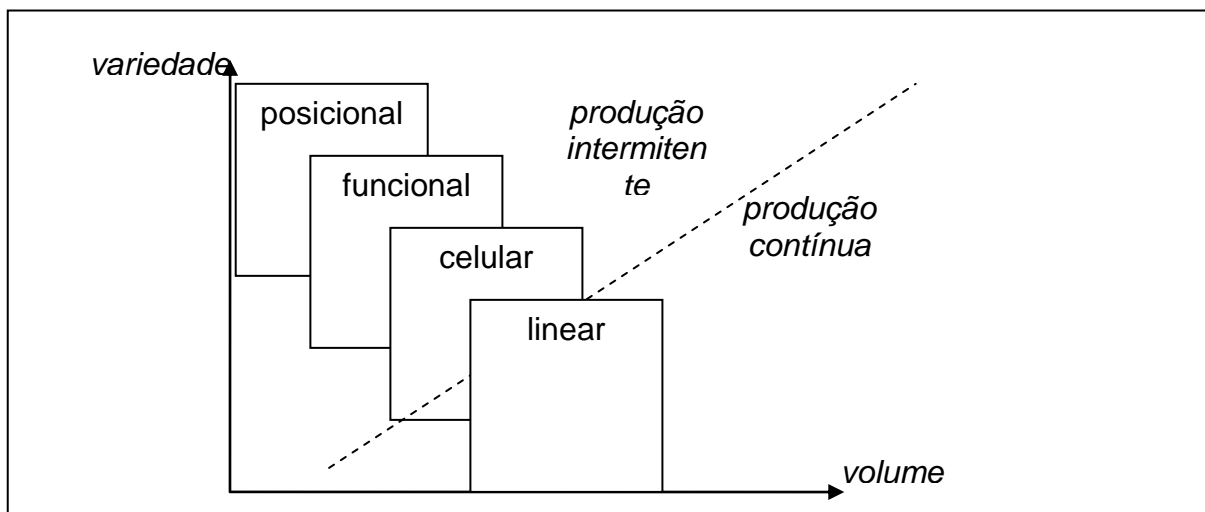


Figura 1 – Tipos de arranjo físico e sistemas de produção em função da característica "volume-variedade"

É importante observar que, neste trabalho, o termo genérico "área produtiva" é empregado independente do tipo de arranjo físico, ou seja, pode identificar linhas, células, funções ou posições. De forma similar, o termo "área de apoio" é empregado para identificar qualquer área da fábrica onde não ocorram processos produtivos, incluindo áreas de manutenção, logística, ferramentas e escritórios.

A literatura na área de arranjo físico concentra-se em duas áreas principais:

- a) Métodos como o "famoso" SLP - *Systematic Layout Planning* -, proposto por Muther (1973) e apresentado por Francis *et al.* (1992); tais métodos podem ser combinados a diversas abordagens, conforme proposto por Tortorella&Fogliatto (2008);
- b) Modelos matemáticos ou algoritmos, tais como as abordagens propostas ou apresentadas por Tompkins&Reed (1976), O'Brien&Barr (1980), Tompkins&White (1984), Co *et al.* (1989), Askin&Standridge (1993), Daita *et al.* (1999) e Tomelin&Colmenero (2010).

Os dois grupos de abordagens mencionados permitem determinar a melhor localização de cada área adotando um ou mais critérios e são úteis para o planejamento de arranjo físico de uma fábrica, que integra o primeiro nível de projeto abordado no próximo item.

3. Níveis de projeto de arranjo físico de fábrica

O modelo proposto nesse trabalho inclui uma hierarquia de projeto e uma estrutura de desenhos de arranjo físico. Nesse item é apresentado o primeiro elemento do modelo, representado por uma hierarquia constituída por três níveis de detalhamento para o projeto de arranjo físico:

- a) Projeto geral, inclui toda a fábrica, identificando tanto áreas produtivas como de apoio e principais fluxos de materiais, porém sem detalhar máquinas e equipamentos;
- b) Projeto intermediário, inclui detalhes relacionados aos desenhos e localização de máquinas e equipamentos, incluindo também fluxos de materiais – principais e secundários –, tanto em áreas de produção como apoio;
- c) Projeto detalhado, inclui o detalhamento relacionado aos postos de trabalho e operadores, com ênfase em aspectos de ergonomia e segurança.

É importante destacar a natureza interativa dos níveis de projeto apresentados; por exemplo, a introdução de uma nova área em uma fábrica já existente requer que, inicialmente, o projeto geral seja adaptado para acomodar essa nova área. Posteriormente, é realizado o projeto intermediário desta área, entretanto é comum que outras áreas tenham que ter seu projeto também adaptado para disponibilizar o espaço necessário. Uma vez finalizados os projetos intermediários, o projeto detalhado da nova área é realizado, e eventualmente o de outras áreas será revisado, e finalmente as informações deste poderá gerar alterações no projeto intermediário e este, por sua vez, no projeto geral.

No primeiro nível de projeto é fundamental resolver o problema de localização de cada área, o que constitui o próprio planejamento do arranjo físico, empregando as abordagens mencionadas no item anterior ou critérios empíricos adotados pelos membros da equipe de projeto, o que é muito mais comum na prática.

No segundo nível duas recomendações devem ser seguidas: (a) emprego de desenhos simplificados e padronizados das máquinas e equipamentos, denominados "templates", com indicação de acessos para manutenção, troca de ferramentas e abastecimento de peças; (b) localização de máquinas baseada em linhas de referência, definidas de modo a facilitar instalação e manutenção e para melhorar a visualização do processo. Tais recomendações, embora simples, facilitam não apenas o projeto como também a instalação das máquinas e equipamentos.

Finalmente, no projeto detalhado duas considerações são particularmente relevantes: (a) recomenda-se que, em cada posto de trabalho, existam pelo menos duas "rotas de fuga" com uma largura mínima de 80 cm; (b) o arranjo do posto de trabalho deve impedir o operador realize movimentos de rotação com a coluna vertebral. Normalmente é possível evitar tais movimentos definindo uma distância de 100 a 120 cm entre as posições de carga e descarga de peças, pois assim o operador deverá caminhar um ou dois passos. Apesar de argumentos a favor de um menor tempo de operação, é preferível acrescentar alguns segundos no ciclo do operador do que criar uma situação que levará a uma redução de ritmo e risco de lesões permanentes.

Em todos os níveis de projeto é necessário estabelecer um relacionamento da equipe de projeto de arranjo físico com diversas funções da empresa, incluindo tempos e métodos, engenharia de processos, engenharia de qualidade, logística, planejamento e controle de produção. A área de produção também deve ser envolvida, incluindo operadores, técnicos, engenheiros e responsáveis das áreas afetadas. Principalmente, o time de arranjo físico deverá estabelecer uma relação forte com as funções de:

- a) Engenharia civil, que fornecerá desenhos de construção civil, incluindo as linhas de escoamento subterrâneo - esgoto, pluvial e resíduos -, além de outros detalhes relacionados às edificações da fábrica;
- b) Engenharia de instalações, junto à qual serão estabelecidas a localização de linhas de utilidades, por exemplo, eletricidade, telecomunicações e ar comprimido, lembrando que esta função será diretamente afetada pelo projeto de arranjo físico, pois será responsável pela instalação das máquinas e equipamentos; por essa razão, em muitas empresas as funções de projeto de arranjo físico e engenharia de instalações encontram-se na mesma organização;
- c) Medicina e segurança ocupacional, que deverá avaliar e aprovar o projeto; esta área possui maior interação com o projeto detalhado, pois neste são visualizadas as rotas de fuga e considerações ergonômicas.

É interessante destacar que a localização das linhas de escoamento subterrâneo - esgoto, pluvial e resíduos -, incluindo os "bueiros" que dão acesso a tais linhas, integram o projeto civil da fábrica, conforme mencionado na primeira alínea do parágrafo anterior, e constituem uma importante restrição ao projeto de arranjo físico, especialmente nos níveis intermediário e detalhado, pois o acesso a tais bueiros não pode ser bloqueado. Embora tal consideração pareça óbvia, na prática é comum que apenas durante a instalação tais restrições sejam identificadas, causando prejuízo tanto sob a forma de custos adicionais de instalação como devido ao atraso decorrente das necessárias revisões do projeto de arranjo físico e da eventual reinstalação de máquinas e equipamentos.

4. Estrutura de desenhos de arranjo físico de fábrica

Nesse trabalho, considera-se a utilização de recursos computacionais para o projeto de arranjo físico. A princípio, os desenhos associados aos três níveis de projeto propostos poderiam ser incluídos em um mesmo arquivo computacional, e a visualização de cada nível dependeria apenas da seleção adequada de camadas – "layers" – do desenho. Entretanto, tal abordagem, embora pareça mais simples, geralmente não é viável em unidades industriais de médio ou grande porte devido a duas razões:

- a) Um arquivo completo, com todos os desenhos de arranjo físico em uma unidade industrial de porte relevante, ocupa grande volume de memória computacional e possui grande número de objetos, o que torna difícil sua edição;
- b) É comum que diversas pessoas estejam trabalhando em alternativas de projeto relacionadas a diversas áreas ou mesmo postos de trabalho; nesses casos é muito mais fácil gerenciar todos os projetos empregando arquivos diferenciados para cada área ou posto de trabalho.

Por outro lado, a prática mostra não ser necessário detalhar cada posto de trabalho em um arquivo diferente; assim, um mesmo arquivo poderá compreender o projeto intermediário e detalhado de cada área, e um outro arquivo o desenho geral da fábrica. Portanto, os seguintes arquivos devem ser elaborados:

- a) Desenho geral da fábrica: este desenho baseia-se nos arquivos fornecidos pela área de engenharia civil, conforme explicado no item anterior, e constitui-se de um arquivo com a identificação do terreno no qual se localiza a fábrica e de outros prédios e facilidades contidos no mesmo terreno, por exemplo, escritórios, central de energia e estacionamento. Este arquivo também contém desenhos de paredes, colunas, linhas subterrâneas, etc., e será empregado para o primeiro nível de projeto de arranjo físico, isto é, projeto geral, no qual serão identificadas as áreas de produção e apoio e os principais fluxos de materiais;

- b) Desenhos detalhados das áreas: representados por arquivos relacionados a cada área de produção ou apoio; nesses desenhos são incluídos todos os detalhes do arranjo físico de fábrica: máquinas, equipamentos, facilidades, postos de trabalho e operadores. Portanto, tais desenhos são empregados para os níveis intermediário e detalhado de arranjo físico;
- c) Desenho detalhado da fábrica: consiste em um arquivo detalhado unificado, contendo todos os arquivos anteriores integrados em um único desenho. Pelas razões apresentadas no início desse item, recomenda-se que este arquivo não seja empregado para o projeto, mas apenas para consolidar os desenhos anteriores. Recomenda-se também que tal consolidação ocorra com frequência mensal ou anual, dependendo do número de alterações ocorridas no arranjo físico de fábrica.

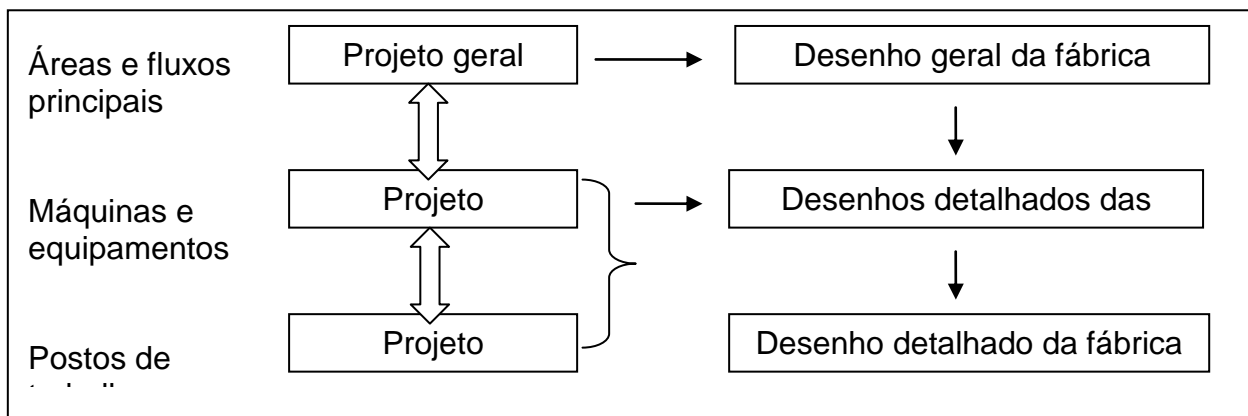


Figura 2 – Modelo conceitual para projeto de arranjo físico de fábrica

A hierarquia de projeto proposta no item anterior e a estrutura de desenhos apresentada neste item constituem o modelo conceitual proposto neste artigo e ilustrado na figura 2. Finalmente, são apresentadas a seguir algumas recomendações específicas relacionadas aos desenhos de arranjo físico:

- É importante garantir uma fácil visualização dos limites das áreas de produção e apoio e dos fluxos de materiais, bem como uma identificação clara e rápida de fluxos de materiais e, no caso do arranjo físico detalhado, das posições ocupadas pelo operador;
- Deve-se incluir a metragem total e parcial das áreas de produção e apoio, além da metragem da área construída, que por sua vez constitui-se não apenas dos dois tipos de áreas mencionadas, mas também das metragens ocupadas pelos corredores; no desenho geral é necessário incluir também a metragem total do terreno ocupado e de outras construções civis além da fábrica;
- É necessário adotar um padrão para camadas – "layers" – e cores que facilite a edição, análise e impressão dos desenhos nos três níveis de projeto, bem como sua consolidação em um único arquivo;
- Deve-se identificar colunas e coordenadas nos espaços produtivos, bem como incluir distâncias nos eixos verticais e horizontais entre um ponto de referência de cada máquina ou equipamento e as linhas de coordenadas mais próximas. Preferencialmente tais medidas devem ser múltiplos de metros ou, pelo menos, de décímetros, para facilitar as atividades de instalação, observando-se também que, normalmente, as linhas de coordenadas são definidas pelos pontos centrais das colunas da fábrica;
- Recomenda-se empregar uma planilha com informações resumidas dos desenhos, incluindo tanto desenhos de alternativas, no caso de áreas em implementação ou cujo

projeto está sendo revisado, como atualizações de desenhos, no caso de áreas já existentes nas quais a produção realizou pequenas modificações no arranjo físico.

5. Conclusão

Este trabalho, de caráter normativo e prático, baseia-se na experiência adquirida em atividades de projeto de arranjo físico relacionadas à implantação de novas linhas de produção ou relocação e melhoria de linhas existentes. Tal experiência é refletida nos itens 3 e 4, dividindo assim as recomendações relacionadas ao projeto propriamente dito e às atividades de elaboração e organização dos desenhos de arranjo físico.

A principal contribuição deste trabalho é justamente a ênfase em aspectos práticos do arranjo físico, incluindo recomendações relacionadas a cada nível de projeto, à maneira como algumas outras funções da empresa devem ser envolvidas e à forma como os desenhos devem ser elaborados e organizados.

A literatura encontrada na área de arranjo físico concentra-se em metodologias e modelos matemáticos destinados ao planejamento do arranjo físico, que são úteis para o primeiro nível de projeto proposto, conforme apresentado no final do segundo item deste artigo. Assim, um tema interessante para futuros trabalhos é o desenvolvimento de modelos e metodologias destinados a apoiar também os projetos intermediário e detalhado de arranjo físico.

Referências

- ASKIN, R. G. & STANDRIDGE, C. R.** *Modeling and Analysis of Manufacturing Systems*. New Jersey: John Wiley & Sons, 1993.
- CO, H.; WU, A. & REISMAN, A.** *A Throughput-Maximizing Facility Planning and Layout Model*. International Journal of Production Research. Vol. 27, n. 1, p. 1-12, 1989.
- DAITA, S. T.; IRANI, S. A. & KOTAMRAJU, S.** *Algorithms for Production Flow Analysis*. International Journal of Production Research. Vol. 37, n. 11, p. 2609-2638, 1999.
- FRANCIS, R.L.; MCGINNINS, L.F. & WHITE, J.A.** *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*. 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1992.
- MENIPAZ, E.** *Essentials of Production and Operations Management*. New Jersey: Prentice-Hall, 1984.
- MUTHER, R.** *Systematic Layout Planning*. 2. ed. Boston: Cahnerns Books, 1973.
- O'BRIEN, C. & BARR, S.E.Z.A.** *An Interactive Approach to Computer Aided Facility Layout*. International Journal of Production Research. Vol. 18, n. 2, p. 201-211, 1980.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A. & JOHNSTON, R.** *Administração da Produção* (tradução do original em Inglês *Operations Management*, 1995). São Paulo: Atlas, 1997.
- TOMELIN, M. & COLMENERO, J.C.** *Método para Definição de Layout em Sistemas Job-shop baseado em Dados Históricos*. Produção. Vol. 20, n.2, p. 274-289, 2010.
- TOMPKINS, J.A. & WHITE, J.A.** *Facilities Planning*. New York: John Willey&Sons, 1984.
- TOMPKINS, J.A. & REED, R.** *An Applied Model for the Facilities Design Model*. International Journal of Production Research. Vol. 14, n. 5, p. 583-595, 1976.

TORTORELLA, G.L. & FOGLIATTO, F.S. *Planejamento Sistemático de Layout com Apoio de Análise de Decisão Multicritério.* Produção. Vol. 18, n. 3, p. 609-624, 2008.