

PLANEJAMENTO E PROJETO DE ARRANJO FÍSICO (*PLANT LAYOUT*) DE UMA FÁBRICA DE MOTORES

Miguel Cezar Santoro

Universidade de São Paulo – Escola Politécnica – santoro@usp.br
Av. Luciano Gualberto, travessa 2-B, 2º andar, Cidade Universitária, 05508-900, São Paulo-SP-Brasil

Luiz Henrique Moraes

Ford Motor Co. do Brasil – Operações de Força-Motriz de Taubaté – lmoraes@ford.com
Av. Charles Schneider, 2222, Parque das Indústrias, 12040-001, Taubaté-SP-Brasil

Abstract

This paper presents plant layout planning and design of a new Engine Plant at Ford Motor Co. of Brazil. The study begins with facilities planning, considering existing chassis components production lines. These lines would be relocated in order to provide the necessary floor space to engine manufacturing. After this, plant layout is designed, material handling is defined, and machines and equipment are installed based on plant layout approval by production and affected areas. Lean manufacturing concepts are considered, and general plant layout guidelines are proposed.

Key-words: *Plant Layout, Production Line, Engine Plant*

1. Introdução

Em empresas industriais de diferentes segmentos é relativamente freqüente a necessidade de se tomar decisões associadas à localização de máquinas e equipamentos no espaço físico da fábrica. Em grandes companhias, tais decisões são tomadas por equipes de especialistas em projeto de arranjo físico (*plant layout*), apoiados por especialistas em automação, movimentação de materiais, embalagens, instalações industriais, ergonomia, simulação de sistemas, etc. Em pequenas indústrias, tais decisões podem ser tomadas diretamente por um engenheiro ou supervisor de produção, que nem sempre possui os conhecimentos necessários a uma decisão eficaz. Em qualquer situação, entretanto, é relevante o impacto que tais decisões exercem não somente sobre indicadores financeiros - custos de produção -, mas também sobre indicadores físicos, tais como tempo de fluxo, estoque em processo, índices de qualidade e disponibilidade, etc.

Este trabalho tem como objetivo apresentar recomendações práticas para o projeto de arranjo físico, baseadas no caso de uma nova fábrica de motores. A fábrica, localizada na cidade de Taubaté (interior paulista) e implantada entre 1997 e 1999, destina-se à produção do motor *Zetec Rocam*, nas versões 1.0 e 1.6 L, com aplicação nos veículos compactos da empresa para o mercado sul-americano (*Ka, Fiesta e Courier*). Dessa forma, serão inicialmente apresentados alguns conceitos e definições, para depois abordar aspectos práticos relacionados ao planejamento da fábrica, ao projeto de arranjo físico propriamente dito – incluindo algumas considerações associadas à definição de sistemas de

movimentação de materiais -, ao envolvimento da produção e áreas afetadas e à instalação de máquinas e equipamentos. Ao final, serão apresentadas algumas recomendações genéricas baseados na experiência descrita neste artigo.

2. Projeto de Arranjo Físico: Conceitos e Definições

Dentre as disciplinas associadas ao projeto de um sistema de produção, destaca-se o projeto de arranjo físico (*plant layout design*), definido como o conjunto de atividades envolvidas na localização de departamentos de fabricação, linhas de produção, centros de trabalho, máquinas e funções auxiliares (ferramentaria, manutenção, etc.) e na definição de rotas e meios de movimentação apropriados (MENIPAZ, 1984).

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 orientados a processos (produção intermitente), caracterizados por baixo volume, alta variedade, fluxo de materiais intermitente, máquinas universais, emprego intensivo de mão-de-obra.

(b) sistemas orientados a produtos (produção contínua), caracterizados por alto volume, baixa variedade, fluxo de materiais contínuo, máquinas especiais, aplicação intensiva de capital.

A mesma classificação pode ser aplicada ao arranjo físico, considerando-se que volume e variedade normalmente são características antagônicas (RUDDEL, 1961). Nesse aspecto, SLACK *et al.* (1997) fornecem uma matriz associada à característica Volume-Variedade, conforme ilustrado na figura 1. Essa matriz apresenta uma classificação mais precisa para o arranjo físico, incluindo a configuração linear, associada a sistemas orientados a produtos (produção contínua), e as configurações posicional, funcional e celular, associadas a sistemas orientados a processos (sistemas intermitentes).

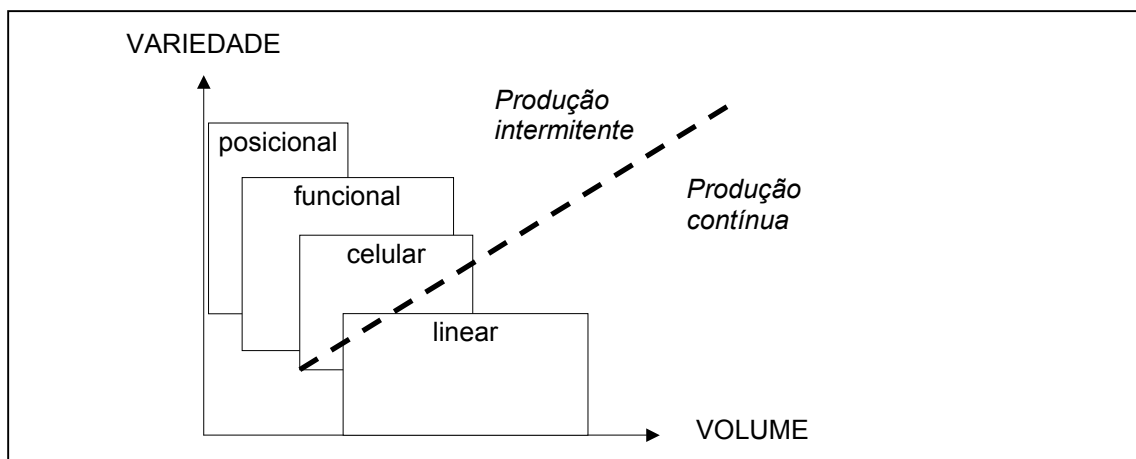


Figura 1 – Conceito de Arranjo Físico em função da característica Volume-Variedade

Note-se que a associação entre arranjo físico e sistema de produção apresentada no parágrafo anterior e ilustrada na figura 1 não é fornecida por SLACK et al. (1997), tendo sido acrescentada pelos autores deste trabalho. No caso da fábrica de motores, as características de alto volume (acima de 200 mil unidades por ano) e baixa variedade (produto único com poucas variações) conduzem obviamente a um sistema de produção orientado a produtos, que por sua vez torna praticamente obrigatória a seleção de um arranjo físico linear. Nesse tipo de configuração, máquinas e equipamentos são localizados de tal maneira a permitir que o produto percorra o menor caminho possível, através de um fluxo linear de operações (MUTHER, 1944). Além disso, deve-se decidir entre uma configuração tradicional "em linha" ou uma configuração em "U", sendo que esta apresenta a vantagem de permitir melhor utilização de operadores (SLACK et al., 1997).

3. Planejamento da Fábrica de Motores

O sistema em estudo compreende a linha de montagem e as linhas de fabricação dos principais componentes usinados do motor – bloco, cabeçote, virabrequim e biela. A linha de montagem foi reutilizada, pois no local já estava localizada a montagem do motor anteriormente empregado nos veículos compactos da empresa, enquanto os componentes eram fabricados na Europa. As linhas do bloco e do cabeçote constituem-se de máquinas e equipamentos novos, enquanto as linhas do virabrequim e da biela baseiam-se em máquinas reutilizadas de outra fábrica, que produzia o motor CHT (empregado no modelo Escort até 1996).

O problema de localização de cada linha de fabricação poderia ter sido resolvido mediante o emprego do método SLP (*Systematic Layout Planning*), proposto por MUTHER (1973) e também apresentado por FRANCIS & WHITE (1974). Entretanto, restrições representadas por linhas de produção existentes (montagem de motores e fabricação de componentes de chassis para automóveis e caminhões), bem como a localização precisa da entrega dos componentes do motor na montagem, dificultam a aplicação do método mencionado, assim como de diversos algoritmos existentes, tais como os propostos por TOMPKINS & REED (1976); CO, WU & REISMAN (1989) e O'BRIEN & BARR (1980). Por razões similares, modelos matemáticos e probabilísticos para projeto de arranjo físico e sistemas de movimentação, tais como os apresentados por TOMPKINS & WHITE (1984), também não foram empregados. Entretanto, o projeto conceitual do sistema de produção, incluindo dados de engenharia de processos (tempos de operação, estimativa para tempo entre paradas e tempo de reparos, etc.) e de arranjo físico (distância entre máquinas e localização de pulmões), seria avaliado mediante o emprego de modelos de simulação.

Baseando-se no conceito do processo de fabricação e no arranjo físico da linha de montagem, a fábrica assumiu a configuração ilustrada na figura 2. A localização das linhas foi definida de modo a minimizar a distância entre a última operação de usinagem e a posição de montagem de cada componente, considerando-se a área necessária a cada linha. A seleção da configuração em "U" nas linhas de montagem e do bloco não se deve à vantagem mencionada desse tipo de arranjo, mas a razões específicas:

- (a) extensão e características da montagem de motores: a configuração empregada é comum a qualquer linha de montagem de motores, devido ao elevado número de operações seqüenciais, utilização de paletes (dispositivos nos quais o motor é montado e que retornam ao início do processo após terem sido liberados pela última operação da linha), entrega de componentes principais no início da montagem e outras particularidades.

- (b) grande dimensão das máquinas utilizadas na linha do bloco: as dimensões das máquinas utilizadas, juntamente com a restrição de área física e disposição de colunas na fábrica, inviabilizou o arranjo convencional em linha.

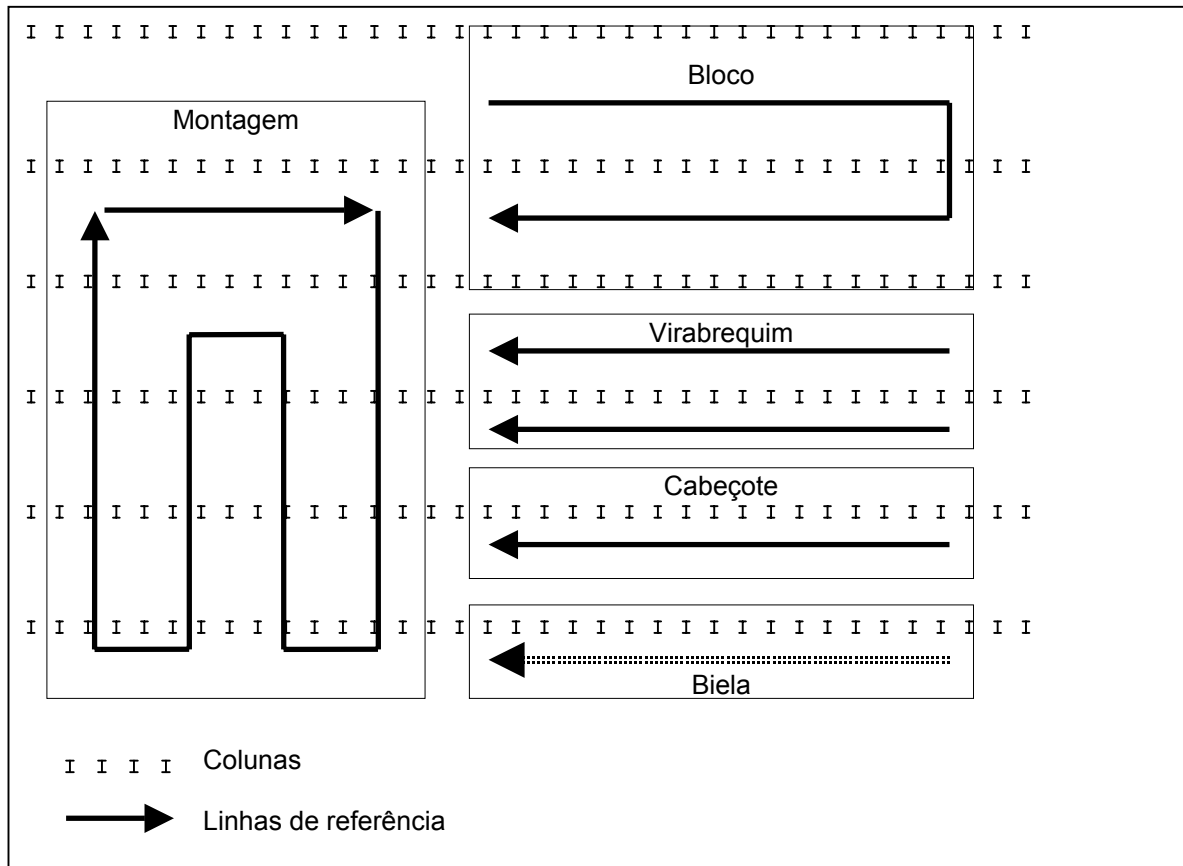


Figura 2 – Conceito Geral de Arranjo Físico da Fábrica de Motores

A área a ser empregada pelas linhas de usinagem era, no início do programa, ocupada por diversas linhas de chassis de caminhões e automóveis, diversas delas destinadas ao mercado de peças de reposição. Nesses casos, houve um esforço combinado dos departamentos de engenharia de manufatura, logística e produção para que toda a produção de reposição fosse realizada, de tal forma que o maior número de linhas pudessem ser desativadas num prazo relativamente curto. Tendo sido identificadas quais dessas linhas não poderiam ser desativadas – devido ao elevado volume demandado pelo mercado de reposição para algumas peças e componentes -, foi definida a localização de cada processo de produção, dividindo-se o espaço físico da fábrica em 3 áreas distintas: chassis de caminhões, chassis de automóveis e motores. A seguir, cada linha a ser relocada teve seu projeto revisado para adequar-se às novas condições. No momento em que as primeiras máquinas da fábrica de motores chegaram para instalação, todas as linhas de chassis já haviam sido relocadas, o que comprovou o comprometimento dos diversos departamentos mencionados.

4. Projeto de Arranjo Físico da Fábrica de Motores

O projeto de cada linha de fabricação iniciou-se com a definição, pelos especialistas em processos de fabricação, dos recursos físicos (máquinas e equipamentos) a serem utilizados e com a delimitação de área definida no planejamento da fábrica (conforme descrito no último item). Obviamente uma descrição detalhada do projeto de cada linha estaria além do escopo deste trabalho, entretanto deve-se mencionar alguns aspectos importantes.

Em primeiro lugar, destaca-se a utilização de *templates*, isto é, desenhos simplificados e padronizados das máquinas, contemplando abertura de painéis elétricos e de controle, identificação de acesso para manutenção, troca de ferramentas e abastecimento de peças e representação dos principais componentes do equipamento. Nas linhas do bloco e cabeçote, tais desenhos foram desenvolvidos à partir do projeto das máquinas. Nas demais linhas de usinagem, o *template* já estava disponível no desenho de arranjo físico da fábrica do motor CHT, localizada em São Bernardo do Campo – de onde as máquinas foram retiradas para serem reformadas e ajustadas ao novo motor. No caso da linha de montagem, o arranjo geral não foi modificado, e o projeto limitou-se à inclusão de diversos equipamentos, cujo projeto também orientou o desenvolvimento dos *templates*, a exemplo das linhas do bloco e do cabeçote.

Um segundo aspecto importante relaciona-se ao posicionamento preciso das máquinas e ao dimensionamento de transportadores. Na linha do bloco, as máquinas foram localizadas de acordo com duas linhas de referência traçadas no sentido longitudinal à área disponível, formando um "U" e percorrendo os "corredores" delimitados pelas fileiras de colunas (ver figura 2). A distância entre as máquinas foi padronizada, com diferentes medidas conforme a necessidade ou não de controle de qualidade (*gauging*) e dispositivos e equipamentos diversos. Diversas operações seriam realizadas em células flexíveis, cada uma formada por 3 ou 4 centros de usinagem abastecidos por um robô; a localização dos centros deveria basear-se na disposição das colunas para facilitar o acesso à manutenção e troca de ferramentas. Todos esses fatores resultaram na localização precisa de cada máquina e conseqüente dimensionamento de transportadores. Em diversas operações as distâncias padronizadas foram ajustadas em decorrência do mencionado posicionamento dos centros de usinagem. Para evitar interferências durante a instalação, os transportadores foram adquiridos com uma medida 50 mm inferior ao definido no desenho de arranjo físico.

Nas linhas do cabeçote e do virabrequim um procedimento semelhante foi utilizado, entretanto havia um grau menor de complexidade envolvido, pois os transportadores da linha do virabrequim foram reutilizados e todas as operações de usinagem do cabeçote seriam realizadas em duas grandes células flexíveis (centros de usinagem abastecidos por robôs). Além disso, as máquinas de ambas as linhas eram de dimensões menores que as do bloco. Finalmente, na linha da biela, verificou-se maior liberdade de posicionamento, pois a movimentação seria realizada mediante "carrinhos" manuais (*manual trolleys*), devido às pequenas dimensões da peça. Na linha de montagem o problema foi resolvido alguns anos antes, durante o projeto da linha já existente. Observe-se que, na figura 2, a linha de referência para as máquinas da biela é representada de maneira diferenciada, indicando que não havia um posicionamento rígido a ser obedecido. Na área do virabrequim note-se uma linha dupla, pois quase todas as operações são realizadas por máquinas idênticas (processo em paralelo), formando na verdade duas linhas de fabricação.

Finalmente, deve-se mencionar a aplicação do conceito de *lean manufacturing* ao projeto de arranjo físico. Embora sejam muitas as implicações, para os propósitos deste trabalho destaca-se o alto grau de envolvimento da produção (inclusive os futuros operadores das máquinas) e outras funções afetadas, tais como manutenção, qualidade, logística, engenharia de segurança, medicina ocupacional e engenharia ambiental. Tal envolvimento, característico da filosofia de *lean manufacturing*, não era comum em programas anteriores, e permitiu resultados significativos na prevenção de problemas relacionados ao posicionamento das máquinas e à seleção de equipamentos de movimentação.

5. Instalação de Máquinas e Equipamentos

Durante a instalação da fábrica de motores, dois aspectos destacaram-se como experiência para futuros programas: a dificuldade associada à localização de máquinas e equipamentos e a necessidade de rever o projeto após a instalação.

Muitas vezes é difícil localizar precisamente as máquinas durante sua instalação. Uma recomendação útil nesse sentido é traçar no piso da fábrica as linhas de referência com relação às quais todas as máquinas serão instaladas, e posicioná-las de acordo com essas linhas. Isso significa que a definição de linhas de referência não apenas facilita o projeto de arranjo físico, como mencionado no item anterior, mas também a instalação das máquinas.

A última etapa no projeto de arranjo físico consiste na revisão do desenho de acordo com a instalação real (*as built*). Nessa fase, verificaram-se diversas discrepâncias, principalmente devido a alterações no projeto de algumas máquinas durante sua construção ou reforma (respectivamente no caso de máquinas novas ou reutilizadas). Disso resultou também a revisão do projeto de diversos transportadores. Outra razão para discrepâncias baseia-se na alocação de bancadas de controle de qualidade, devido à facilidade em alterar o posicionamento das mesmas para melhor atender a critérios de ergonomia e segurança.

6. Considerações Finais

Além do envolvimento de diversas funções da empresa, conforme já mencionado, a aplicação da filosofia de produção *lean* orientou o conceito de movimentação de peças da usinagem para a montagem. Assim, foram projetados transportadores aéreos para movimentar bloco e virabrequim à posição em que são montados, e um pequeno AGV (*automated guided vehicle*) no final da linha do cabeçote com a mesma finalidade (esse tipo de equipamento foi selecionado devido à menor distância entre a última operação da linha do cabeçote e a posição de montagem dessa peça). Apenas para a biela preferiu-se um conceito convencional de movimentação, baseado no emprego de *racks* metálicos e empilhadeiras, devido às pequenas dimensões da peça. Em caso de parada no processo de montagem, os componentes deixam de ser transportados, acumulando-se na própria linha de usinagem. Dessa forma, pode-se recomendar, no contexto dos sistemas de produção orientados a produtos (linhas de produção), o emprego de transportadores que interliguem diretamente fabricação e montagem, evitando o emprego de empilhadeiras e o acúmulo de estoque em processo.

Diversas diretrizes empregadas no projeto da fábrica de motores podem ser utilizadas no projeto de arranjo físico de qualquer sistema de produção, intermitente ou contínuo: (a) emprego de desenhos simplificados e padronizados das máquinas e equipamentos (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; (c) envolvimento da produção (incluindo operadores) e áreas afetadas (principalmente manutenção, segurança do trabalho e medicina ocupacional), incluindo um processo de aprovação que garanta a concordância de todas as áreas com relação ao projeto definitivo. Essas recomendações permitem não apenas reduzir o tempo de projeto e implantação, mas também evitar problemas de manutenção, qualidade, segurança e ergonomia.

BIBLIOGRAFIA

1. CO, H.; WU, A.; REISMAN, A. A Throughput-Maximizing Facility Planning and Layout Model. *International Journal of Production Research*. Vol. 27, nº 1, p. 1-12, 1989.
2. FRANCIS, R.L.; WHITE, J.A. Facility Layout and Location: an analytical approach. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1974.
3. MENIPAZ, E. Essentials of Production and Operations Management. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1984.
4. MUTHER, R. Systematic Layout Planning. 2nd ed., Boston, Cahners Books, 1973.
5. MUTHER, R. Production-line technique. New York, McGraw Hill, 1944.
6. O'BRIEN, C.; BARR, S.E.Z.A. An Interactive Approach to Computer Aided Facility Layout. *International Journal of Production Research*. Vol. 18, nº 2, p. 201-211, 1980.
7. RUDDER, R. Plant Layout: factors, principles and techniques. Homewood, Illinois, Richard D. Irwin, 1961.
8. SLACK, N. *et al.* Administração da Produção. São Paulo, Atlas, 1997.
9. TOMPKINS, J.A.; WHITE, J.A. Facilities Planning. New York, John Willey & Sons, 1984.
10. TOMPKINS, J.A.; REED, R. An Applied Model for the Facilities Design Model. *International Journal of Production Research*. Vol. 14, nº 5, p. 583-595, 1976.