

Língua / Language



Este documento faz parte do web site da Correa & Associados  
This document is part of Correa & Associados' web site

**Corrêa & Associados Estratégia de Manufatura e Serviços**

R. da Consolação, 3367 – cj. 11 – São Paulo – SP – Brasil  
CEP: 01416-001 – Tel./Fax: 55-11-3088-3291

Este e outros documentos associados ao tema estão disponíveis em:  
This and other related documents are available at:

<http://www.correa.com.br>

# Flexibilidade nos Sistemas de Produção<sup>1</sup>

Henrique L. Corrêa, Ph.D.

*Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.*

**Palavras-chave:** flexibilidade, sistemas flexíveis, estoques estratégicos.

## Introdução

A partir do início dos anos 80, uma nova ênfase tem sido dada para a importância do critério "Flexibilidade" para a competitividade dos sistemas de manufatura. Esta nova ênfase é baseada em alguns fatores, que podem ser resumidos em dois principais:

a) O ambiente no qual as empresas de manufatura têm atuado tem sido crescentemente turbulento - a concorrência tem sido mais e mais competente, os mercados têm demandado uma variedade crescente de produtos com ciclos de vida cada vez mais curtos e os fornecedores nem sempre atingem níveis desejados de qualidade dos produtos e nível de serviços oferecidos por estarem, eles também, lutando com suas próprias dificuldades no mesmo mercado turbulento. Esta situação leva a uma condição de limitada previsibilidade e estabilidade e, portanto, demanda uma capacidade crescente de responder bem a mudanças, ou, em outras palavras, de desenvolver flexibilidade.

b) O desenvolvimento de novas tecnologias de processo - o desenvolvimento de novas tecnologias de processo tem se dado em tal proporção que a taxa de desenvolvimento tecnológico pode ter ultrapassado a habilidade de as pessoas utilizarem plenamente as tecnologias ou mesmo entenderem plenamente o seu potencial. O resultado é uma provável "sub-utilização" das novas tecnologias, que, potencialmente, "oferecem" flexibilidade a qualquer organização que consiga transformar este "potencial" em flexibilidade real. Grandes esforços têm sido despendidos na tentativa de se entender como fazer isso eficazmente.

No sentido de contribuir com o esforço de se obter um melhor entendimento do conceito de flexibilidade dos sistemas de manufatura, uma pesquisa de 3 anos foi desenvolvida junto a empresas inglesas e brasileiras. O objetivo principal da pesquisa como um todo foi o de analisar as relações entre as variáveis incerteza, variabilidade das saídas e flexibilidade em sistemas de produção. A seguir são apresentados alguns dos resultados desta pesquisa, particularmente aqueles que dizem respeito à modelagem analítica da flexibilidade dos recursos estruturais de produção (equipamentos e pessoas). Os resultados detalhados da pesquisa como um todo podem ser encontrados em (Corrêa, 1992).

## O método de pesquisa

A abordagem geral usada nesta pesquisa pode ser classificada como de "estudo de casos". Para detalhes a respeito da metodologia, veja (Corrêa, 1992). Oito empresas (incluindo o estudo piloto) foram escolhidas e estudadas em profundidade. O processo de escolha das empresas não foi aleatório. Ao contrário, o critério usado na seleção das empresas foi baseado na potencial contribuição de cada uma para o processo de análise das três variáveis mencionadas acima: incerteza,

---

<sup>1</sup> Publicado na RAE da FGVSP vol 33 numero 3, 1993.

variabilidade de saídas e flexibilidade. O método básico de coleta de dados foi o de extensivas visitas às organizações e entrevistas (utilizando questionário semi-estruturado) com membros dos seus quadros gerenciais (pelo menos quatro gerentes foram formalmente entrevistados por empresa), além do estudo de documentação fornecida por eles.

## **O nível de análise**

Como Gerwin (1986) esclarece, um aspecto básico no tratamento analítico da flexibilidade de sistemas de produção é o nível de agregação no qual a pesquisa se baseia, se no nível das máquinas em particular, do sistema de produção, se no nível da empresa como um todo e assim por diante. O nível de análise considerado nesta pesquisa é o nível dos recursos constituintes dos sistemas de produção, particularmente os recursos estruturais, que serão definidos no decorrer do artigo. A sua inter-relação com o nível do sistema produtivo também é brevemente comentada.

## **A escolha das empresas**

Na metodologia de estudo de casos, os casos não são escolhidos aleatoriamente, mas selecionados de forma a prover exemplos polares e se encaixar em categorias teóricas (Eisenhardt, 1988; Pettigrew, 1988; Yin, 1988). Os casos para esta pesquisa foram selecionados entre empresas brasileiras e inglesas. Uma "amostra" mista foi selecionada pelas seguintes razões: o ambiente industrial brasileiro, notoriamente, tem um alto nível de incerteza ou imprevisibilidade. De acordo com Pettigrew (1988), faz sentido pragmático escolher uma situação extrema como esta para a análise de incerteza ambiental. Empresas inglesas, por outro lado, são em princípio mais aptas a prover dados valiosos em termos de variabilidade de saídas. Uma abordagem alternativa seria escolher uma "amostra" inteiramente inglesa ou brasileira, mas fazendo isto, a riqueza dos casos "polares" seria parcialmente perdida.

## **Os casos**

O número de casos estudados em profundidade, determinados por restrições de recursos de pesquisa, foi de 4 empresas (2 no Brasil e 2 na Inglaterra), além de outras quatro empresas, também analisadas durante a fase de pesquisa piloto. Todas as empresas são manufactureiras de produtos com alto grau de engenharia embutida, do ramo metal mecânico, pertencentes ao setor automobilístico. As empresas da amostra serão chamadas aqui empresas A, B, C e D. Elas são brevemente descritas abaixo.

Empresa A - uma fábrica inglesa de automóveis localizada na região de Midlands, o coração industrial inglês, que fabrica partes para estoque e monta veículos sob encomenda. Esta pesquisa focaliza o setor da empresa A fabricante dos motores dos veículos.

Empresa B - uma fabricante brasileira de carburadores, localizada em São Paulo. É a maior fornecedora OEM de carburadores para as montadoras de veículos brasileiras, sendo parte de uma grande corporação industrial multi-nacional com sede na Europa.

Empresa C - uma fabricante brasileira de amortecedores, que produz e distribui auto-peças para o mercado doméstico e também para exportação. É uma empresa totalmente brasileira e, hoje, uma das maiores fabricantes brasileiras de auto-peças.

Empresa D - uma fabricante inglesa de veículos localizada na região de Midlands, e parte de uma grande corporação multinacional com sede na América do Norte e interesses em produtos para a indústria automobilística, equipamentos industriais e motores, além de veículos especiais. Noventa por cento dos 65000 "sets" de veículos produzidos na fábrica da empresa D por ano são exportados para 140 países.

### **Recursos de produção - estruturais vs. infra-estruturais**

A classificação dos recursos de produção em estruturais e infra-estruturais é proposta por vários autores na bibliografia e.g. Hayes and Wheelwright (1984), Hill (1985) e Slack (1989). Entretanto, nem todos os autores concordam com quais recursos deveriam ser considerados estruturais e quais deveriam ser considerados infra-estruturais.

Hill (1985) define recursos infra-estruturais como o conjunto de estruturas, controles, procedimentos, sistemas e comunicação, combinados com as atitudes, experiência e habilidades das pessoas envolvidas com o sistema de manufatura e os recursos estruturais como a tecnologia, os equipamentos e as instalações de um sistema de manufatura. Hill (1985), portanto, inclui características dos recursos humanos como parte dos recursos infra-estruturais. Ele considera questões organizacionais (o papel dos especialistas, o número de camadas gerenciais da organização, a abordagem de grupos, a estrutura do trabalho, entre outros) e as questões de controle (controle de qualidade, dos estoques e da produção) como os principais temas sobre recursos infra-estruturais.

Hayes e Wheelwright (1984) também consideram a força de trabalho como uma de suas quatro áreas de decisão infra-estruturais - força de trabalho, qualidade, planejamento da produção e materiais e organização. Eles consideram estas decisões mais táticas e fáceis de reverter que aquelas as quais eles consideram como estruturais (capacidade, instalações, tecnologia e integração vertical). Esta visão é controversa, já que a força de trabalho tem sido crescentemente considerada por vários autores como o ativo mais importante das organizações. Reverter decisões que dizem respeito à atitude das pessoas no trabalho, quanto ao comprometimento com os objetivos da empresa, e à motivação para o trabalho tem normalmente provado demandar uma considerável quantidade de tempo, recursos e esforço organizacional. Mesmo considerando o critério reversibilidade, portanto, a força de trabalho parece ser mais adequadamente classificada como um recurso estrutural.

De acordo com Slack (1989), os recursos infra-estruturais incluem apenas os sistemas, relações e canais de comunicação que mantêm a operação da empresa agregada, apoiando assim o funcionamento dos recursos estruturais - humanos e tecnológicos. Com respeito aos recursos infra-estruturais, Slack (1989) considera que os sistemas que suprem os outros recursos da organização (os sistemas de suprimento) e os sistemas que controlam a operação de produção (os sistemas de controle) são aqueles que são particularmente importante para a discussão de flexibilidade.

Nesta pesquisa a seguinte classificação de tipos de recursos de produção (baseada em Slack, 1989) é adotada: o sistema de produção é uma configuração de recursos individuais estruturais (tecnológicos e humanos) e infra-estruturais. Cada um destes é definido abaixo:

Recursos tecnológicos - as instalações e os equipamentos do sistema produtivo

Recursos humanos - as pessoas que fazem parte do sistema produtivo.

Recursos infra-estruturais - o "software" da organização; os sistemas, relações e comunicações que mantêm a operação do sistema produtivo agregada.

Neste artigo o interesse é focalizado principalmente na análise da flexibilidade dos recursos estruturais de produção: humanos e tecnológicos.

### **A flexibilidade dos recursos tecnológicos de produção**

Para entender a flexibilidade dos recursos tecnológicos de um certo processo de produção é importante entender o conceito de economia de escala. Economia de escala se diz ocorrer quando o custo marginal da produção de um determinado produto é decrescente ou, em outras palavras, quando os custos totais de produção crescem menos do que proporcionalmente com as quantidades produzidas. A economia de escala ocorre por causa dos assim chamados custos fixos (e.g. custos de preparação de máquinas) no processo de produção. Os custos de preparação de máquina, normalmente uma função do tempo de preparação, é um fator muito importante a ser levado em conta quando se considera a flexibilidade de determinado equipamento. Quanto menos relevantes os custos de preparação, menos relevantes as economias de escala e portanto a produção de lotes pequenos se torna praticamente tão econômica quanto a produção de lotes grandes. Isto faz com que se possam produzir quantidades menores (por produto) de uma grande variedade de diferentes produtos a custos comparáveis aos custos de produzir grandes quantidades (por produto) de um ou poucos tipos diferentes de produtos. Isto tudo providos os necessários níveis de capacidade e versatilidade dos equipamentos. A redução de tempos de preparação de máquina é, portanto, uma das formas mais evidentes de se atingir níveis mais altos de flexibilidade de equipamento, ao menos em termos de resposta<sup>2</sup>.

Há duas diferentes e importantes vertentes na bibliografia, quanto à discussão da redução de tempos de preparação de equipamento (o tempo necessário para o equipamento ser preparado para que seja capaz de trocar da produção de um produto ou peça para outra). Uma vertente sugere que automação flexível (como máquinas de controle numérico) é a principal forma de se atingir níveis mais altos de flexibilidade de equipamento. A outra vertente, mais ligada ao pensamento japonês, sugere uma abordagem que pode ser chamado aqui, de abordagem baseada em método. Esta abordagem é baseada mais em conceitos de organização, métodos de trabalho e racionalidade no uso de equipamento convencional. Ambas abordagens são a discutidas a seguir.

### **A abordagem baseada em tecnologia (automação flexível).**

Alguns autores consideram que o aspecto chave para um sistema de produção atingir níveis mais altos de flexibilidade é tecnologia, ou, em outras palavras, via "automação flexível". Zelenovic (1982) argumenta que "... o aumento da flexibilidade dos elementos do sistema de produção pode ser conseguido com sucesso mudando a estrutura dos elementos no sentido de maior automação, mantendo a produção a níveis ótimos mesmo com mudança de produtos ou de condições de

---

<sup>2</sup>Este conceito é devido a Slack (1989). O autor sugere que 4 tipos e 2 dimensões de flexibilidade dos sistemas de produção podem ser identificados: flexibilidade de novos produtos (relacionada à habilidade de o sistema introduzir diferentes produtos ou modificar produtos já existentes), flexibilidade de mix (relacionada à habilidade de manufaturar uma larga variedade de produtos diferentes dentro de um determinado período), flexibilidade de volume (relacionada à habilidade de alterar o nível agregado de produção de um sistema produtivo) e flexibilidade de entrega (relacionada à habilidade de o sistema alterar eficazmente datas prometidas de entrega). Slack também define duas dimensões de flexibilidade: flexibilidade de faixa (o "pacote" de habilidades ou o conjunto de diferente estados que o sistema consegue assumir) e flexibilidade de resposta (a facilidade, em termos de tempo, custo e esforço organizacional com a qual o sistema é capaz de mudar de estado ou mudar de atividade, dentro do dado "pacote" de habilidades).

operação...". Stecke e Raman (1986) acrescentam que "... enquanto a correspondência unívoca entre estágios respectivos dos ciclos de vida de produto e de processo podia ser estabelecida para processos de produção convencionais, a automação flexível tende a quebrar esta relação..."<sup>3</sup>. Desta forma, não apenas alguns dos processos (e.g. os sistemas convencionalmente chamados "job shop") teriam alta flexibilidade, mas mesmo os mais eficientes em custo (e.g. as linhas de montagem) poderiam também ser flexíveis, sendo capazes de produzir uma variedade de produtos em vez de apenas um ou alguns poucos.

A este respeito, Hill (1989) argumenta que a base de controle numérico (o coração dos sistemas de automação flexível) destes novos processos de automação flexível traz com ela um nível de flexibilidade que é muito maior do que o nível inerente às alternativas sem controle numérico. Isto significa que os novos processos seriam mais aptos a lidar com faixas mais amplas de diferentes produtos e também mais aptos a lidar com mudanças de mix ao longo do tempo. Os novos processos de produção que teriam surgido como consequência da automação flexível seriam, de acordo com Hill (1989), sistemas híbridos, tendo características de mais que um dos cinco tipos convencionais de sistemas de produção adotados por Hayes e Wheelwright (1984) e outros: por projeto, em job shop, em lotes, em linha de montagem e em fluxo contínuo.

### **A abordagem baseada em método**

A importância da redução dos tempos de preparação para o desenvolvimento de flexibilidade dos equipamentos já foi enfatizada. Baseado neste pressuposto, muito esforço tem sido dispendido, inicialmente no Japão e mais tarde ao redor do mundo, para se acharem formas e desenvolverem técnicas para se reduzirem os tempos de preparação de equipamentos. Shingo (1985), o criador do sistema SMED ("Single Minute Exchange of a Die") contribuiu com este esforço. Reduções para 1/18 do tempo previamente gasto com a preparação de algumas máquinas são relatados em seu livro (Shingo, 1985) e atribuídas ao seu método que é parcialmente baseado nos princípios e métodos da "gestão científica", originada por Frederick Taylor no início deste século.

Todas as empresas da amostra da pesquisa aqui descrita, por exemplo, tinham variações de programas de "trocas rápidas de ferramentas" sendo implantados. Duas delas em particular (empresas A e B) reportaram reduções substanciais em seus tempos de preparação (A empresas A obteve melhorias nos tempos de preparação da ordem de 70% no setor de peças injetadas de Zamac e a empresa B chegou a reduzir o tempo de preparação de uma prensa de aproximadamente 3 horas e meia para 25 minutos, no setor de prensados) e como consequência aumentaram seus níveis de flexibilidade sem investimentos de capital. Ambas utilizaram variações do sistema SMED, que basicamente define dois tipos de atividades relacionadas à preparação da máquina: atividades de "setup interno" (aquelas que podem ser executadas exclusivamente quando a máquina está parada, como a montagem e fixação de moldes nas prensas) e atividades de "setup externo" (aquelas que podem ser executadas quando a máquina ainda está em operação, como localizar e transportar os moldes do armazém para a máquina). Dois passos então devem ser seguidos para a redução dos tempos de preparação:

- 1) Separar as atividades de "setup" externo e interno, fazendo um esforço "científico" de análise para tratar o máximo possível de atividades como de setup externo. Com este passo, normalmente o tempo necessário para "setup" interno pode ser reduzido de 50%, de acordo com Shingo.

---

<sup>3</sup>Para detalhes quanto à relação entre os ciclos de vida de produto e de processo, vide Hayes e Wheelwright (1984), capítulo 4.

2) Converter "setup" de interno para externo, re-examinando e modificando as atividades para identificar aquelas que foram erradamente assumidas ser de "setup" interno e achando formas de converter estas atividades para "setup" externo. Neste passo, reduções ainda mais substanciais podem ser obtidas nos tempos totais de troca.

Schonberger (1986) também sugere algumas formas de se aumentar a flexibilidade dos equipamentos sem o uso de automação flexível. Schonberger concorda com Shingo em que o ponto importante para o atingimento de flexibilidade dos equipamentos é a redução dos tempos de preparação. Ele também enfatiza algumas características desejáveis dos equipamentos quando se pretende que estes sejam flexíveis, como a modularidade e a transportabilidade, que podem contribuir não para a flexibilidade da máquina em particular mas para a flexibilidade do sistema de produção. Se uma determinada máquina tem, por exemplo, pequena capacidade e tamanho, baixo custo e preparação simples e barata, então, mesmo frente a uma alta demanda por volume, ela seria preferível, de acordo com Schonberger, quando comparada com máquinas maiores. A razão é que com máquinas menores, o sistema de produção pode adicionar capacidade de produção da mesma forma que adiciona pessoas. A capacidade do sistema de produção seguiria de perto o crescimento da demanda por volume. Trabalhando com máquinas de grande capacidade, capacidade de produção pode apenas ser acrescida em grandes degraus, prejudicando a flexibilidade com que o sistema responde a variações de demanda.

### **Flexibilidade dos recursos tecnológicos: sumário e conclusões sobre a bibliografia.**

Em termos da flexibilidade dos recursos tecnológicos (ou dos equipamentos), os custos, o tempo e o esforço organizacional para a realização da troca de produtos nas máquinas parecem ser considerações relevantes, ao menos em termos de flexibilidade de resposta. A bibliografia é dividida em duas correntes principais em termos da forma de obter níveis de desempenho melhores em termos das trocas; uma corrente sugere automação flexível. Os benefícios desta abordagem são principalmente velocidade de troca e consistência (Hill, 1989). As principais desvantagens desta abordagem são os altos custos de capital envolvidos na aquisição de equipamentos e sua implantação e a falta de modularidade e transportabilidade. Há ainda a grande dificuldade em se atestar a viabilidade dos investimentos em automação utilizando as técnicas convencionais de análise de viabilidade (Johnson e Kaplan, 1987).

A outra corrente defende o uso de equipamento convencional e modular, do qual os tempos e custos de preparação podem ser substancialmente reduzidos pelo uso de métodos adequados. A principal desvantagem desta abordagem parece ser a necessidade de mudança na atitude das pessoas envolvidas e a maior dependência das habilidades dos operadores, que é necessária. Para se mudar a atitude das pessoas para uma atitude mais flexível e para se elevar o nível de habilidades dos trabalhadores, uma considerável quantidade de esforço organizacional e capital podem ser necessários para prover treinamento, eventuais mudanças nas relações empresa-funcionários e novos estilos de supervisão (Schonberger, 1984).

As duas correntes principais quanto ao tratamento da flexibilidade dos recursos tecnológicos não parecem ser e não deveriam ser consideradas como mutuamente exclusivas (Hayes et. al., 1988). Provavelmente nenhum sistema de manufatura pode atingir altos níveis de flexibilidade baseando-se exclusivamente em uma das duas correntes de pensamento (pelo menos num futuro próximo). Uma certa quantidade de ambas abordagens pode ser necessária e a maior ou menor ênfase em uma delas ou na outra parece depender da situação que a particular empresa enfrenta. Se uma organização hipotética, por exemplo, pretende desenvolver flexibilidade de seus recursos tecnológicos mas não tem capital suficiente para investir em automação flexível, parece plausível que ela enfatize a

abordagem baseada em método. Em outra situação hipotética, também parece plausível que empresas enfrentando dificuldades com os sindicatos em termos de fazer de sua mão de obra mais flexível e multi-habilitada tendam a enfatizar a automação flexível, na qual possivelmente uma mão-de-obra menos multi-habilitada seja necessária. Parece ser importante, portanto, que os administradores considerem ambas abordagens - baseada em método e baseada em tecnologia - como não mutuamente exclusivas e que considerem a utilização de um "mix" de ambas (Schonberger, 1990), mix este que deveria ser coerente com a particular situação que as suas organizações enfrentem.

### **A flexibilidade dos recursos humanos**

De acordo com Atkinson (1984), a melhor forma de se obter uma maior flexibilidade da força de trabalho é através de mudanças na organização do trabalho. O autor propõe um modelo que favoreceria o desenvolvimento deste tipo de flexibilidade. Atkinson chama este modelo de "the flexible firm" (a firma flexível): políticas diferenciadas seriam aplicadas a diferentes grupos de trabalhadores. A divisão básica seria entre posições que são específicas para empresas em particular e posições envolvendo apenas habilidades gerais. O modelo inclui uma classe de trabalhadores com vínculos mais fracos com a empresa (o grupo periférico), em torno de um grupo mais estável numericamente, responsável pelas atividades-chaves específicas da empresa. A ênfase deste grupo mais estável seria quanto à flexibilidade funcional. A ênfase do grupo periférico seria, por outro lado, mais quanto à flexibilidade numérica. Quando a demanda se expande, o grupo periférico se expande. Quando a demanda se contrai, o grupo periférico se contrai correspondentemente.

Pollert (1987) critica o modelo de Atkinson (1984) observando que os conceitos de grupo central e grupo periférico são muito frágeis e também que o modelo de Atkinson não ajuda a entender as relações entre a flexibilidade da mão-de-obra e a flexibilidade do sistema produtivo como um todo. Adicionalmente às críticas de Pollert (1987) deve-se lembrar que a criação de uma força de trabalho insegura e com baixo nível de habilidades não é apresentado por Atkinson (1984) como algo com que os administradores deveriam estar preocupados. Isto parece contraditório com a visão um considerável número de autores (e.g. Hayes et. al., 1988 e Womack, 1990). Estes consideram que a criação de uma força de trabalho motivada e comprometida é algo crucial, quer ela exerça uma função chave ou não. Na mesma linha, o conceito hoje largamente aceito de "controle de qualidade total" (CQT) assume que mesmo um trabalhador que desempenhe uma tarefa não específica da empresa como simples montagens e testes tem sua parcela de contribuição para a qualidade do produto ou serviço final da empresa. Hayes et. al. (1988) sugerem que um desempenho competitivo superior depende primariamente das pessoas envolvidas no processo produtivo. Desenvolver seu potencial - habilidades, disciplina, capacidade de resolver problemas, capacidade de aprender - estaria no coração de uma produção de alto desempenho. Segundo a literatura, uma organização que pretenda aumentar o nível de flexibilidade de sua força de trabalho deveria favorecer o desenvolvimento das seguintes características principais em seus trabalhadores:

Habilidades melhores e múltiplas (Adler, 1987; Kohler, 1989; Grey e Corlett, 1989; Hayes et. al., 1988) - Quanto maior a faixa de diferentes habilidades de um trabalhador, mais flexível ele é, seja em termos de mudanças no mix de produtos ou seja em termos da possibilidade de mudar o trabalhador para outros postos de trabalho, característica útil para se lidar com absenteísmo e faltas locais temporárias de pessoal. Com relação à automação flexível, Adler (1987) encontrou em sua pesquisa "um surpreendente grau de convergência, numa série de estudos conduzidos em numerosos países, todos apontando para a necessidade de novas e mais sofisticadas habilidades da mão-de-obra para lidar com automação avançada."



Habilidade de tomar decisões / resolver problemas (Womack et. al., 1990; Hayes et. al., 1988) - característica especialmente importante para que se possam obter respostas rápidas para circunstâncias em mudança. Permite descentralização da tomada de decisões e portanto evita que tempo seja perdido no aguardo das decisões por escalões superiores na organização.

Habilidade de trabalhar em equipe (Womack et. al., 1990; Kohler, 1989) - Integração é importante para se obter flexibilidade na introdução de novos produtos. Forças-tarefa multi-funcionais ou equipes têm sido crescentemente utilizados quando as empresas pretendem ser ágeis no desenvolvimento de novos produtos ou nas alterações de produtos já existentes. Engenheiros de projeto, por exemplo, necessitam de um contacto próximo e constante com a equipe de produção para que o projeto facilite ao máximo a produção dos produtos e para que possíveis problemas futuros de produção causados por um projeto defeituoso possam ser identificados ainda na prancheta. Este tipo de interação deveria ocorrer com todas as áreas envolvidas e o trabalho de equipes multi-disciplinares parece ser a abordagem mais indicada.

Capacidade de comunicação (Kohler, 1989) - para que se obtenha integração, uma eficiente comunicação inter e intra funcional é essencial. Quanto mais a comunicação é praticada, mais fácil ela se torna. Algumas áreas das empresas têm seus próprios jargões que deveriam, ou ser padronizados, ou ao menos ser compreendido pelas outras áreas com as quais haja interação. Desta forma, mal-entendidos são minimizados e dúvidas podem ser resolvidas rápida e eficazmente.

Habilidade de compreender o processo como um todo - o bom entendimento do processo como um todo ajuda a entender as consequências das decisões feitas localmente, tornando desta forma o processo de tomada de decisão mais fácil, rápido e as decisões se tornam mais consistentes, evitando decisões que levariam a consequências indesejáveis. (Skinner, 1978).

Habilidade de adaptação a situações novas - ajuda a combater a resistência à mudança, o que pode prejudicar a flexibilidade. A aceitação da mudança como uma parte intrínseca do processo de produção mais do que como uma exceção é importante para se lidar com ambientes em mudança (Hayes et. al., 1988).

Habilidade / disposição para o aprendizado contínuo - É o ponto mais enfatizado por Hayes et. al. (1988) como essencial para a criação do que eles chamam "the learning organisation". Esta característica é condição para a criação de uma capacidade efetiva do sistema de produção de se adaptar a novas situações. Ao menos em parte, a resistência à mudança é o resultado do medo do desconhecido, causado, muitas vezes, por falta de informação apropriada. Se há a predisposição de aprender sempre, as barreiras de resistência podem ser mais facilmente quebradas.

### **Flexibilidade dos recursos humanos - sumário e conclusões sobre a bibliografia**

Parece ser necessário abandonar alguns conceitos gerenciais clássicos se se pretende desenvolver uma força de trabalho flexível. Um deles é a separação muito clara entre o planejamento/control e a execução das tarefas. As tarefas não são mais aquelas velhas e simples tarefas repetitivas, projetadas pelos gerentes com base em princípios da "administração científica". A nova realidade demanda flexibilidade e flexibilidade requer tomada de decisão descentralizada, certa habilidade de resolver problemas não repetitivos, alguma habilidade de planejamento e auto-control por parte de quem executa o trabalho, ou, em outras palavras, um certo nível de habilidades gerenciais além de excelência técnica.

Para se desenvolver este tipo de habilidade é necessário criar certas condições facilitadoras, para as quais a idéia de grupos parece ser um elemento importante. Estas condições, em geral, são uma função da forma segundo a qual os trabalhadores são gerenciados, basicamente quanto ao estilo de supervisão, que deve mudar de diretivo para facilitador; à ênfase no aprendizado contínuo, não apenas nos aspectos técnicos do trabalho mas também nos aspectos gerenciais; e, finalmente quanto às formas de remuneração e recompensa, que devem ser baseadas também no desempenho do grupo ao qual o trabalhador pertence e na amplitude de habilidades que o trabalhador tem e não mais apenas baseadas no desempenho individual e quantidades produzidas.

Vários autores (Hayes et. al., 1988; Womack et. al., 1990; Schonberger, 1990) parecem concordar que os recursos humanos são e deveriam ser considerados como o ativo mais valioso das organizações no presente e na realidade competitiva futura. Hoje é largamente aceito que os programas que enfatizam a qualidade total deveriam enfatizar fundamentalmente as pessoas, depois de um período no qual qualidade foi considerada mais como uma função dos sistemas de informação para a qualidade (e.g. sistemas de controle estatístico da qualidade).

Hoje é quase um consenso que sem uma força de trabalho comprometida e treinada a qualidade total não pode acontecer de forma sustentada, mesmo com bons sistemas de informação para a qualidade implantados. Sistemas de qualidade, embora possivelmente necessários, não parecem ser suficientes para garantir níveis altos de qualidade dos produtos. Algo similar parece estar acontecendo em termos de flexibilidade. Depois que os resultados da "automação flexível" provaram ser bem mais modestos que o que fora antecipado (pelo menos até o presente momento), parece que uma mão de obra flexível começa a ser largamente aceita como uma necessidade para uma organização que pretenda atingir altos níveis de flexibilidade de seu sistema de produção.

### **Flexibilidade dos recursos estruturais de produção - resultados empíricos**

Foram encontradas algumas diferenças entre as empresas da amostra em relação às formas que utilizam para obter flexibilidade dos seus sistemas de manufatura. Os gerentes da empresa A, por exemplo, consistentemente consideraram que a flexibilidade do sistema de manufatura se consegue prioritariamente através dos seus recursos humanos, enquanto os gerentes da empresa C em geral deram menos ênfase ao aspecto humano da flexibilidade. Eles confiam muito mais nos sistemas de informação e sistemas gerenciais para obter os níveis necessários de flexibilidade. Os gerentes da empresa D, por sua vez, consideraram que as pessoas e os sistemas são os grandes responsáveis pela flexibilidade de manufatura (talvez pela inflexibilidade herdada do equipamento de sua fábrica, inicialmente projetada para produzir altos volumes de produtos padronizados e presentemente atendendo a uma necessidade crescente por variedade de produtos de sua linha). Não houve preferência clara por um tipo de recurso no atingimento de flexibilidade, nas opiniões dos gerentes da empresa B. Como se vê, o aspecto "país de origem" não foi especialmente discriminante em termos da ênfase dada a determinado tipo de recurso no atingimento de flexibilidade de manufatura.

Um aspecto que foi observado ser discriminante entre fábricas localizadas no Brasil e na Inglaterra, foi o "arsenal" para se lidar com as mudanças inesperadas (ou, em outras palavras, os meios para se obter flexibilidade para continuar funcionando eficazmente apesar da ocorrência de mudanças inesperadas, tanto ambientais, e.g. entregas erráticas de insumos, como internas, e.g. quebras de máquinas).

Perguntados sobre como lidavam com imperfeições graves nas entregas de insumos (a fonte de incerteza considerada como a mais preocupante pela grande maioria dos gerentes da amostra), por exemplo, os gerentes da empresa B (localizada no Brasil) listaram 4 alternativas das quais se utilizam normalmente: a capacidade de reprogramação da produção, para mudar as prioridades para ordens

cujos materiais estejam disponíveis; a versatilidade do equipamento, para ser capaz de produzir em casa uma peça cuja entrega falhe; a habilidade de organizar subcontratação urgente de um fornecedor substituto, e; o desenvolvimento preventivo dos fornecedores, para eliminar as falhas futuras. Já os gerentes da empresa A (localizada na Inglaterra), por exemplo, citaram apenas a habilidade de o sistema de programação da produção ser reprogramado rapidamente.

Embora este seja apenas um exemplo, a tendência de os gerentes das empresas localizadas no Brasil terem um "arsenal de flexibilidade" mais rico para conseguir robustez do sistema de manufatura se manteve, ao longo de toda a pesquisa. Isto pode significar que o fato de o ambiente industrial brasileiro ser muito incerto propicia aos gerentes de empresas localizadas no Brasil desenvolverem práticas e procedimentos mais flexíveis como condição de permanência ou mesmo de sobrevivência. Resta saber se esta flexibilidade, desenvolvida para resolver imperfeições e falhas nas cadeias de operações, podem ser também utilizadas para obter vantagem competitiva no mercado mundial, que tem demandado níveis cada vez mais elevados de flexibilidade das empresas que pretendam atender a mercados cada vez mais segmentados, que demandam produtos com ciclos de vida cada vez mais curtos.

Um aspecto interessante da flexibilidade dos recursos estruturais de produção foi observado durante a pesquisa de campo realizada e é, a seguir, descrito. A abordagem observada é relevantemente diferente daquelas encontradas na bibliografia. De acordo com os gerentes entrevistados, sempre parece haver algum tipo de reserva (ou redundância) envolvida com a presença de flexibilidade em sistemas de produção. Três gerentes da empresa A, por exemplo, descreveram flexibilidade explicitamente como uma reserva, um ativo, algo que a empresa possui, mas que não está utilizando a todo momento. De fato, se um sistema é capaz de responder eficazmente a situações em mudança (que é uma das definições adotadas de flexibilidade - Mandelbaum, 1978), isto significa que este sistema é capaz de assumir diferentes estados e, portanto, é capaz, potencialmente, de desempenhar mais atividades do que as atividades que está desempenhando em cada momento. O sistema tem, portanto, algum tipo de habilidade ou característica em excesso, ou redundante. Uma máquina que seja totalmente dedicada, por exemplo, não é flexível exatamente porque é capaz apenas de desempenhar uma única tarefa e portanto não há excesso ou redundância em suas habilidades.

Ainda de acordo com os gerentes, não apenas redundância, entretanto, é necessária para que um recurso estrutural contribua com a flexibilidade do sistema de produção. Ele também precisa ter algum nível "agilidade" de mutabilidade<sup>4</sup> (o que em inglês, tem sido chamado também com um neologismo - "switchability") de forma a responder fácil e rapidamente às mudanças. Em outras palavras, e organizando estas idéias, para ser flexíveis, os recursos estruturais têm que ser capazes de mudar fácil e rapidamente entre as atividades que eles são redundantemente capazes de desempenhar.

Principal contribuição dos recursos estruturais para a flexibilidade	Redundância e Mutabilidade
----------------------------------------------------------------------	----------------------------

<sup>4</sup>Considerado aqui, na falta de uma palavra melhor, como a habilidade de mudar de atividades de forma rápida, suave e não custosa.

Fig. 1 - A contribuição dos recursos estruturais para a flexibilidade dos sistemas de produção.

### **Exemplos do uso de redundância observados na pesquisa de campo.**

Para ser capaz de responder a mudanças no número de montadores disponíveis na linha, mudanças estas causadas por absenteísmo, a empresa A, por exemplo, mantém um certo nível de capacidade em excesso na linha de montagem (3% de montadores em excesso) para cobrir os ausentes. Isto significa que a linha de montagem da empresa A tem capacidade redundante do recurso estrutural humano. Entretanto, é também necessário garantir que dentro do time de montagem, todos os dias, haja habilidades suficientes para desempenhar todas as tarefas de montagem. A empresa A resolve este problema treinando uma certa quantidade de montadores de forma a capacitá-los a desempenhar mais de uma função na linha. Fazendo isso, se torna possível transferir montadores entre postos de trabalho da linha e, portanto, acomodar as habilidades necessárias para rodar a linha. Fazendo com que os montadores tenham várias, em vez de apenas uma habilidade dedicada, a empresa A está criando uma reserva, ou redundância nas habilidades do recurso estrutural humano. Ambos tipos de redundância - de capacidade e de habilidades - podem também ser criadas para o recurso estrutural tecnológico. Uma máquina versátil (como as máquinas de controle numérico da empresa A, capazes de usinar uma grande variedade de peças de aço e alumínio) tem habilidades redundantes e uma unidade de produção com capacidade extra de equipamento tem capacidade redundante (como a empresa B que mantém certo nível de capacidade em excesso em seu setor de injeção de zamac para ser capaz de lidar com as frequentes quebras de suas máquinas já antigas).

Além de redundâncias em capacidade e habilidades, um terceiro tipo de redundância de recursos estruturais foi identificado no estudo empírico. A empresa D, por exemplo, mantém estoques de produtos semi-acabados para ser capaz de responder rapidamente à sua demanda altamente variável. Para criar estes estoques, os recursos estruturais tecnológicos e humanos da empresa D foram ativados antes do momento em que esta ativação seria estritamente necessária. A criação destes estoques permite que o sistema seja mais flexível aos olhos do cliente, permitindo que a empresa D responda mais prontamente às mudanças em sua demanda. Não seria suficiente, segundo seus gerentes, que a empresa D mantivesse apenas seus níveis correntes de capacidade e habilidades redundantes. Um estoque de produtos acabados ou semi-acabados é tipicamente um exemplo de uma reserva, criada para que o sistema possa responder melhor a situações em mudança. Esta reserva é criada por uma utilização redundante ou extra dos recursos estruturais, pois eles foram ativados mais ou antes do que o estritamente necessário.

Portanto, foram identificados três tipos de redundância dos recursos estruturais e que podem se traduzir em níveis de flexibilidade, desde que gerenciados apropriadamente: redundância de capacidade, de habilidades e de utilização. Cada um deles é analisado em mais detalhe abaixo.

Redundância nas habilidades - é uma função da faixa de habilidades que o recurso possui mas não utiliza em cada momento. Se uma máquina, por exemplo, é capaz de produzir 10 diferentes tipos de peça ela é mais redundante em termos de habilidades que outra máquina que é capaz de produzir apenas três diferentes tipos (dado que cada uma destas máquinas produz um tipo de peça de cada vez). A habilidade de uma máquina em termos de quantas diferentes peças ela pode produzir é, em geral, uma característica de seu projeto. Considerando o recurso humano, entretanto, o nível de redundância em habilidades que um trabalhador possui pode ser aumentado por treinamento ou

experiência. Se um trabalhador é treinado para ser capaz de desempenhar uma quantidade maior de tarefas, sua reserva de habilidades aumenta.

Redundância na capacidade - é a diferença entre o nível de saídas que o recurso está normalmente produzindo e o nível máximo de volume de saída que o recurso é capaz de produzir. Se uma máquina tem a capacidade de produzir 1000 peças por hora mas está normalmente produzindo 700 peças por hora, ela tem uma redundância ou reserva de capacidade maior do que uma máquina similar, normalmente produzindo 900 peças por hora. O mesmo conceito pode ser aplicado para um trabalhador ou grupo de trabalhadores.

Redundância na utilização - ocorre quando um recurso é ativado mais do que estritamente necessário (como por exemplo na formação de estoques de segurança) ou antes do estritamente necessário (como na formação do que se chama "tempo ou lead-time de segurança". Em ambos os casos, o resultado é a formação de um estoque físico. Aqui um estoque (gerado pela utilização redundante de um recurso estrutural) é definido como a quantidade de matéria-prima, produto semi-acabado ou produto acabado, dentro do sistema, que foi, ou comprado ou processado em quantidades superiores ou anteriormente ao ponto do tempo em que isto seria estritamente necessário para responder a uma específica ordem firme de um cliente. Esta é uma forma alternativa de considerar os estoques no sistema de produção. Na se está sugerindo que estoques sejam desejáveis em princípio, mas apenas que os estoques representam um dos elementos com os quais os gerentes podem contar para atingir mais altos níveis de flexibilidade em seus sistemas de produção. A adequação ou não do uso de estoques complementar ou alternativamente ao uso dos outros tipos de redundância dos recursos estruturais de produção para a obtenção de flexibilidade depende de cuidadosa análise dos custos e benefícios, táticos e estratégicos, tangíveis e menos tangíveis, peculiares a cada situação particular. Esta abordagem para os estoques parece hoje mais aceita nos meios acadêmicos e empresariais que a noção dominante de alguns anos atrás, a da desejabilidade de sistemas com "estoque zero". Hoje acadêmicos e práticos consideram que a idéia de "estoque zero" deve ser substituído pela idéia de "estoque mínimo desejável" ("Just Enough Desirable Inventory - JEDI"). Isto significa que, em princípio, continua desejável que os estoques sejam mantidos a níveis mínimos, mas não mais indiscriminadamente. Há situações em que pode ser desejável manter "estoques estratégicos" em determinados pontos ao longo da cadeia de operações. A fabricante japonesa de motocicletas Kawasaki é um bom exemplo. Ela optou conscientemente por manter altos níveis de estoques de produtos acabados para isolar o seu sistema de manufatura das variações de demanda de curto prazo e, desta forma, obter a estabilidade que seu sistema puxado de fluxo de materiais (kanban) necessita. Aos olhos do cliente, entretanto a Kawasaki é capaz de entregas altamente flexíveis. Ela usa para isso, flexibilidade obtida através da utilização redundante (antes do estritamente necessário) de seus recursos estruturais.

Tipos de redundância	Capacidade
dos recursos estruturais de	Habilidades



Fig. 2 - Tipos de redundância dos recursos estruturais.

Há outra característica dos recursos estruturais de produção que não está relacionada a nenhum dos tipos de redundância em particular, mas também é importante no atingimento de níveis mais altos de flexibilidade, principalmente em termos de flexibilidade de resposta: a mutabilidade dos recursos estruturais.

Mutabilidade dos recursos estruturais de produção - relacionada com o quanto rápida, barata e facilmente um recurso estrutural troca do estado no que está operando para outro estado. Em termos de recursos tecnológicos, mutabilidade se refere principalmente aos tempos de troca (as empresas A, B, C e D têm, no momento, programas de redução de tempos de troca de ferramenta em andamento, visando aumentar seu nível de flexibilidade de resposta, ou em outras palavras, o nível de mutabilidade dos seus recursos estruturais tecnológicos). Em termos de recursos humanos, mutabilidade se refere à facilidade e ao tempo que leva para uma pessoa, ou grupo, trocar entre tarefas até o ponto em que ela esteja executando a tarefa subsequente no mesmo nível de desempenho que ela estava executando a tarefa anterior em regime.

Sumarizando, a flexibilidade de um recurso estrutural pode ser descrita pelo nível e tipos de redundância e o nível de mutabilidade que ele possui.

Principal contribuição dos recursos estruturais para	a flexibilidade do sistema produtivo	Redundância	Habilidades
			Capacidade
			Utilização
		Mutabilidade	

Fig. 3 - Contribuição dos recursos estruturais para a flexibilidade do sistema de produção.

### **Olhando para a frente: algumas questões ainda por responder**

A intenção desta artigo é apresentar as fundações de um quadro de referência alternativo para auxiliar a análise de flexibilidade dos recursos estruturais de produção. Pesquisa adicional é certamente necessária para que o quadro de referência possa ser total e praticamente utilizado pelos tomadores de decisão dentro das empresas. Entretanto, em nível conceitual o quadro de referência apresentado pode auxiliar o entendimento e modelagem de flexibilidade em sistemas de produção assim como auxiliar o entendimento das relações entre a flexibilidade e a geração e manutenção de estoques. Análises desta relação, na bibliografia, ou são evitadas, ou são ignoradas, deliberada ou não deliberadamente. Há por certo ainda várias questões por responder.

As relações entre a flexibilidade requerida do sistema de produção (dadas pela estratégia de manufatura da organização) e as características dos recursos estruturais de produção, em termos de redundância e mutabilidade, é algo que necessita exploração adicional. A literatura normalmente não discrimina adequadamente entre os diferentes níveis de flexibilidade (com exceções, como Gerwin, 1986 e Slack, 1989). É importante ter um conjunto coerente de tipos e dimensões de flexibilidade do sistema de produção (vide Corrêa, 1992 para uma proposta de taxonomia para a flexibilidade dos sistemas de produção) para que se possa pensar em responder à seguinte questão: dados os níveis de flexibilidade que determinado sistema necessita atingir para atender às suas necessidades estratégicas, quais tipos/níveis de redundância e que níveis de mutabilidade os recursos estruturais deveriam possuir? Alternativas de resposta a esta questão ainda não foram suficientemente exploradas nem por este estudo e nem pela literatura consultada.

Para atingir o mix apropriado de tipos de flexibilidade, necessário para que a empresa atinja seus objetivos estratégicos, escolhas apropriadas da melhor configuração de redundâncias devem ser feitas. Algumas escolhas são bastante claras. Para atingir flexibilidade de faixa de novos produtos (Slack, 1989), por exemplo, a empresa tem de usar algum nível de redundância de habilidades, pois nem redundância de capacidade e nem redundância de utilização podem ajudar. Entretanto, em algumas situações, os gerentes têm alternativas de escolha. Por exemplo, se um sistema de produção está sendo projetado para ter uma resposta flexível a mudanças de volume demandado, algumas alternativas estão disponíveis: estoques (ou utilização) redundantes poderiam ser usados, assim como capacidade redundante ou ainda uma mistura de ambos, usados complementarmente. Se uma empresa necessita flexibilidade para responder a mudanças de mix de produtos demandados, uma escolha entre pessoas e máquinas muito flexíveis e alguma quantidade de estoques de produtos semi-acabados e acabados pode de ser feita. Análises de custo e benefício devem ser feitas para cada situação. Em nível de sistema de produção, portanto, parece plausível assumir que um sistema produtivo pode atingir flexibilidade via diferentes configurações dos três tipos de redundância de seus recursos estruturais. Para que as análises de custo e benefício das alternativas possam ser adequadamente feitas, mais pesquisa é necessária, tanto em termos de medidas para os diferentes tipos de redundância como para seus respectivos custos.

## Bibliografia

- ADLER, P.A. "Managing Flexible Automation" . Working Paper. Dept. of Industrial Engineering and Engineering Management. Stanford University. Abril, 1987.
- ATKINSON, J. "Manpower Strategies for Flexible Organisations". Personal Management. pp. 28-31. Agosto 1984.
- CORRÊA, H.L. The Links Between Uncertainty, Variability of Outputs and Flexibility in Manufacturing Systems. Tese de Ph.D. University of Warwick. Coventry, 1992.
- DOONER, M. e De Silva, A. "Conceptual Modeling to Evaluate the Flexibility Characteristics of Manufacturing Cell Designs". 28th. Matador Conference. UMIST. Abril 1990.
- EISENHARDT, K.M. "Building Theory from Case Study Research". Working Paper. Dept of Industrial Engineering and Engineering Management. Stanford University. Outubro 1988.
- GERWIN, D. "An Agenda for Research on the Flexibility of Manufacturing Processes". Internat Journal of Operations and Production Management. vol. 7, n.1. pp. 38-49, 1986.
- GREY, S.M. e Corlett, E.N. "Creating Effective Operating Teams". in International Handbook of Production and Operations Management Ed. Wild, R.. Cassell. London, 1989. pp 554 -566.
- HAYES, R.H. e Wheelwright, S.C. Restoring Our Competitive Edge. Wiley. New York, 1984.
- HAYES, R.H.et. al. Dynamic Manufacturing. The Free Press. New York, 1988.

- HILL, T. Manufacturing Strategy. MacMillan. London, 1985.
- HILL, T. Manufacturing Strategy - Text and Cases. Irwin, Homewood, 1989.
- JOHNSON, H.T. e Kaplan, R.S. Relevance Lost. The Rise and Fall of Management Accounting. HBR Press. Boston, MA. 1987.
- KOHLER, E. "New Skills for New Technologies" in International Handbook of Production and Operations Management. Editor Wild, R.. Cassell. pp 542-553. London, 1989.
- MANDELBAUM, M. Flexibility in Decision Making: An Exploration and Unification. Tese de Ph.D. Department of IE, University of Toronto, Canadá. 1978.
- PETTIGREW, A. "Longitudinal Field Research on Change: Theory and Practice". Trabalho apresentado na "the National Foundation Conference on Longitudinal Research Methods in Organizations". Austin, Texas, 1988.
- POLLERT, A. "The Flexible Firm: A Model in Search of Reality (or a Policy in Search of Practise?)". Warwick Papers in Industrial Relations. University of Warwick, Dez 1987.
- SCHONBERGER, R.J. Japanese Manufacturing Techniques. Ed. Free Press. New York, 1982.
- SCHONBERGER, R.J. World Class Manufacturing. The Free Press. New York, 1986.
- SCHONBERGER, R.J. Building a Chain of Customers. Hutchinson Books. London, 1990.
- SHINGO, S. A Revolution in Manufacturing: The SMED System. Productivity Press. Stanford, Massachussets, 1985.
- SKINNER, W. Manufacturing in the Corporate Strategy. John Wiley and Sons. New York, 1978.
- SLACK, N.D.C. "Focus on Flexibility" in International Handbook of Production and Operations Management Editor Wild, R.. Cassell. London, 1989.
- STECKE, K.E. and Raman, N. "Production Flexibilities and Their Impact on Manufacturing Strategy". Working Paper no. 484. Graduate School of Business Administration. University of Michigan. Dez. 1986.
- WOMACK, J.P. et. al. The Machine that Changed the World. Rawson Associates. New York, 1990.
- YIN, R.K. Case Study Research - Design and Methods. Rev. ed. Sage Publications. Newbury Park, California. 1988
- ZELENOVIC, D.M. "Flexibility: A Condition for Effective Production Systems" International Journal of Production Research. vol 20, no.3. pp. 319-337. 1982.