

## 2 Flexibilidade de manufatura

Discutem-se aqui aspectos gerais conceituais e de definição da flexibilidade. Com o objetivo de atenuar a complexidade da discussão do tema, são apresentadas as características essenciais da flexibilidade que servirão como base conceitual para as discussões mais detalhadas das interações previstas no modelo de pesquisa.

### 2.1 Necessidade de flexibilidade nos sistemas produtivos

São diversas as razões que levam à necessidade de flexibilidade nos sistemas produtivos.

Corrêa (1994) cita três grupos de fatores:

- (i) Fatores relacionados às saídas (*output*) do sistema de manufatura (consumidores e concorrentes)<sup>1</sup>:
  - a intensa fragmentação dos mercados consumidores que demandam uma grande variedade de produtos com ciclos de vida mais curtos.
  - a crescente necessidade por maior eficiência de processos e efetividade plena dos sistemas de manufatura.
  - a necessidade de responder efetivamente às mudanças ocorridas em ambientes competitivos turbulentos.
  
- (ii) Fatores relacionados às entradas (*inputs*) do sistema de manufatura (fornecedores):
  - as incertezas relacionadas ao fornecimento e demanda por mão-de-obra demonstrados pela necessidade de um leque maior de habilidades que

---

<sup>1</sup> Tais fatores, associados à escassez de recursos, induziriam as empresas a busca de meios mais “flexíveis” para o gerenciamento e alocação desses recursos.

permitam o rápido desenvolvimento e ajuste dos níveis de mão-de-obra para enfrentar tais incertezas.

- desenvolvimento e disponibilização de tecnologias de processo mais flexíveis e a menores custos – induzindo as empresas a utilizá-las, seja por representarem soluções efetivas para seus problemas, seja pelo fato de sua não utilização poder implicar perda de competitividade no futuro.
- a tendência à adoção de automação flexível – como Sistemas Flexíveis de Manufatura – para acomodar as variabilidades de entrada.<sup>2</sup>

(iii) Fatores relacionados ao processo de produção:

- as incertezas envolvendo o processo produtivo, principalmente no curto prazo, tais como: quebra de equipamentos e absenteísmo de mão-de-obra, forçando a adoção da flexibilidade como uma espécie de ‘seguro’ para o sistema, uma garantia de sua continuidade (Carter, *apud* Corrêa, 1994).

Na visão de Slack (1993), algumas das razões para a necessidade de flexibilidade em um sistema produtivo estariam relacionadas (i) à variedade de atividades, (ii) às incertezas de curto prazo, (iii) às incertezas de longo prazo, e (iv) à ignorância quanto ao direcionamento futuro (Quadro 1). As razões relacionadas à variedade de atividades são referentes ao uso da flexibilidade para corresponder às operações do dia-a-dia, tais como variedade de produtos, variedade de níveis de saída ou variedade de promessas de entrega. As razões relacionadas às incertezas de curto prazo correspondem ao uso da flexibilidade na manutenção do desempenho do sistema, reagindo à baixa confiabilidade e não conformidade no andamento do que foi planejado, enquanto que as razões relacionadas às incertezas de longo prazo sugerem o uso da flexibilidade diante de características de um planejamento estratégico global de uma empresa, considerando, portanto, a necessidade de lidar com quaisquer condições emergentes, tais como novos produtos, novos mercados ou novos concorrentes. Por fim, as razões relacionadas à ignorância quanto ao direcionamento futuro consideram a ausência de

---

<sup>2</sup> Observado em empresas americanas e européias. No caso de empresas japonesas, o estabelecimento de relacionamentos mais próximos e de longo prazo com fornecedores, inclusive com efetiva cooperação tecnológica, implicaram menor necessidade de flexibilidade (De Meyer, *apud* Corrêa, 1994).

estratégias funcionais competitivas bem planejadas, a falta de integração entre as funções de produção, a falta de clareza quanto ao que poderá ser solicitado do sistema produtivo e a necessidade de se efetuarem compensações na falta de direcionamento estratégico da empresa (nesses casos, a flexibilidade é praticamente ineficiente).

Quadro 1 – Razões para a necessidade de flexibilidade.

<b>RELACIONADAS À VARIEDADE DE ATIVIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lidar eficazmente com uma larga faixa de partes, componentes ou produtos existentes.</li> <li>• Adaptar produtos a requisitos específicos dos consumidores.</li> <li>• Ajustar níveis de saída para estar apto a corresponder às variações de demanda, tais como a sazonalidade.</li> <li>• Expedir pedidos prioritários ao longo da fábrica</li> </ul>
<b>RELACIONADAS ÀS INCERTEZAS DE CURTO PRAZO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lidar com quebras de equipamento.</li> <li>• Proporcionar os ajustes na capacidade quando a demanda é muito diferente do previsto.</li> <li>• Lidar com falhas de fornecedores (internos e externos).</li> </ul>
<b>RELACIONADAS ÀS INCERTEZAS DE CURTO PRAZO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para que futuras gerações de produtos possam ser manufaturadas na mesma fábrica.</li> <li>• Porque não existe uma idéia clara de quanta capacidade será necessária no futuro.</li> </ul>
<b>IGNORÂNCIA QUANTO AO DIRECIONAMENTO ESTRATÉGICO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porque não há qualquer previsão aceitável ou plano para o futuro, de modo que opções precisam ser mantidas em aberto.</li> </ul>

Fonte: Elaborado a partir de Slack (1993, p. 80).

De Toni & Tonchia (1998), por sua vez, apontam cinco condições que, segundo eles, são os principais determinantes da necessidade de flexibilidade: (1) a variabilidade da demanda (aleatória ou sazonal), (2) curtos ciclos de vida de produtos e tecnologias, (3) extensa faixa de produtos, (4) crescente customização e (5) curtos tempos de entrega.

## 2.2

### Natureza da flexibilidade

Destacam-se na literatura esforços significativos voltados à caracterização da natureza da flexibilidade, como os trabalhos de Beach *et al.* (2000), Golden & Powell (2000), Braglia & Petroni (2000), Koste (1999), Upton (1994, 1995), Slack (1987) e Gerwin (1987, 1993). Embora as pesquisas tenham sido elucidativas e contribuído bastante para o conhecimento do tema, a flexibilidade ainda pode ser vista como um conceito complexo, multidimensional e de difícil

entendimento e operacionalização (D'Souza & Willams, 2000; Koste, 1999; Koste & Malhotra, 1999; Corrêa, 1994; Upton, 1994; Gupta, 1993). As subseções a seguir visam apresentar a natureza da flexibilidade. Outras extensões sobre o tema também podem ser vistas em Serrão (2001).

### **2.2.1**

#### **Definindo flexibilidade**

A flexibilidade é um conceito que, ao longo dos anos, vem demonstrando uma complexidade inerente que permite variações em sua definição, especialmente ao se considerar a variedade de situações gerenciais e especificidade de problemas que podem desenhá-la de diferentes formas (Upton, 1994), gerando interpretações personalizadas (Upton, 1995), ou mesmo ambigüidade em seu significado.

O que pode ser notado em diferentes definições encontradas na literatura para a flexibilidade é uma convergência de aspectos que a apresentam como uma habilidade (Slack, 1993; Upton, 1994; D'Souza & Willams, 2000; Frazelle, 1986) ou capacidade (Golden & Powell, 2000; Zelenovic, 1982) que uma organização possui para mudar (Slack, 1993; Upton, 1994) ou reagir (Upton, 1994) diante das mudanças ocorridas no ambiente, considerando tempo, custo e esforço envolvidos (Upton, 1994). O Quadro 2 apresenta algumas das definições de flexibilidade propostas na literatura.

### **2.2.2**

#### **Conceito multidimensional**

A flexibilidade é um conceito multidimensional composto por diversas dimensões e elementos. Um aspecto marcante relacionado à multidimensionalidade da flexibilidade é que o fato de uma empresa ser flexível em uma dimensão não necessariamente significa que esta será flexível em outra (Upton, 1995). Isso ocorre devido aos relacionamentos entre as dimensões e elementos da flexibilidade poderem gerar um efeito natural de suporte ou produzirem *trade-offs*, como destacam Parker & Wirth (1999, p. 445): “o verdadeiro desafio para gerentes e pesquisadores não é apenas apreciar a existência de uma variedade de tipos de flexibilidade, mas também a existência de relações e *trade-offs* entre

eles”. Uma razão importante para esse desafio é a complexidade dessas relações. Contudo, compreender os mecanismos que coordenam os relacionamentos entre as dimensões da flexibilidade corresponde ao desenvolvimento de importantes habilidades para o gerenciamento competitivo da flexibilidade.

Quadro 2 - Algumas definições propostas para a flexibilidade

<b>Referência</b>	<b>Definição</b>
Zelenovic, 1982	A medida da capacidade de um sistema de produção adaptar-se a mudanças nas condições de ambiente e necessidades de processo.
Frazelle, 1986	A habilidade de responder ou se adaptar às mudanças ou novas situações, rapidamente e com pouco custo.
Slack, 1993	A habilidade de mudar ou de fazer algo diferente.
Upton, 1994	A habilidade de mudar ou reagir com pouca penalidade de tempo, esforço, custo ou desempenho.
Golden & Powell, 2000	A capacidade para adaptar.
D’Souza & Willams, 2000	Uma estrutura multidimensional que representa a habilidade da função produção fazer os ajustes necessários para reagir às mudanças no ambiente sem sacrifícios significativos para o desempenho da empresa.

### 2.2.3

#### **Flexibilidade requerida, potencial e real**

A flexibilidade pode ser vista a partir de diferentes ângulos: flexibilidade requerida, flexibilidade potencial e flexibilidade real. Flexibilidade requerida é o montante de flexibilidade que precisa ser apresentada pelo sistema de modo a responder efetivamente às incertezas do ambiente competitivo e favorecer o alinhamento da flexibilidade com a estratégia de produção. A flexibilidade potencial está relacionada ao montante de flexibilidade que um sistema pode potencialmente atingir para ser utilizado, tendo por base suas capacitações. Normalmente, a flexibilidade potencial pode ser associada à capacidade das máquinas, às habilidades dos operários etc. A flexibilidade real é o montante de flexibilidade que o sistema realmente utiliza ou demonstra no momento de sua medição. A flexibilidade real pode ser melhorada à medida que possa utilizar a flexibilidade potencial de modo apropriado.

#### **2.2.4 Flexibilidade estática e dinâmica**

A flexibilidade pode ser dinâmica ou estática, dependendo do nível de incertezas no ambiente competitivo (Hyun & Ahn, 1992). O aspecto estático da flexibilidade corresponde, normalmente, à tecnologia de processo; e a capacidade de um sistema de manufatura em lidar com incertezas é definida em função de produtos e estrutura de produção fixos. Como resultado, considerando um contexto em mudança, a flexibilidade estática será menos eficiente, exceto quando, por exemplo, considera-se uma implementação bem sucedida de Tecnologias Avançadas de Manufatura (*Advanced Manufacturing Technology – AMTs*). Em contraste, o aspecto dinâmico da flexibilidade pode lidar com mudanças freqüentes no ambiente competitivo e está relacionado à capacidade que um sistema possui para encarar variações em um ambiente não-estacionário. Esta dinâmica insere na natureza da flexibilidade o conceito de aprendizado e o nível de entendimento de um sistema de produção. Logo, melhorias incrementais contínuas e aquisição de conhecimento são algumas práticas associadas com o conceito de flexibilidade dinâmica e representam uma diferenciação em relação ao conceito de flexibilidade estática.

#### **2.2.5 Flexibilidade interna e externa**

A flexibilidade pode ser interna ou externa (Upton, 1994). Internamente, a flexibilidade representa o conjunto de capacitações e estratégias de operações que a companhia possui para responder às incertezas do ambiente (o que pode ser feito). Externamente, a flexibilidade representa uma fonte de vantagem competitiva que pode ser vista em um contexto particular (o que pode ser visto pelo mercado). A flexibilidade externa corresponde aos diferentes modos que uma empresa pode utilizar para responder, por exemplo, às variações de demandas agregadas por produtos, demandas freqüentes por customização e oportunidades de alcançar fatias de mercado por meio de melhorias no mix de produtos.

## 2.3

### Dimensões e elementos da flexibilidade

Diversos estudos sobre flexibilidade de manufatura são voltados diretamente às abordagens conceituais e classificações de dimensões de flexibilidade, tais como os trabalhos de Gerwin (1987), Gupta & Goyal (1989), Shewchuk & Moodie (1998), Koste & Malhotra (1999) e D'Souza & Williams (2000). Dentre esses, destaca-se o trabalho de Koste & Malhotra (1999) pelo seu mapeamento de diversas definições para dimensões de flexibilidade e a composição de uma lista contendo dez dimensões que, segundo os autores, corresponde às mais importantes e regularmente citadas por pesquisadores, representando um consenso de diversos pontos de vista. Essas dez dimensões de flexibilidades são: flexibilidade de máquina, flexibilidade de mão-de-obra, flexibilidade de movimentação de material, flexibilidade de roteamento, flexibilidade de operação, flexibilidade de expansão, flexibilidade de volume, flexibilidade de *mix*, flexibilidade de novos produtos e flexibilidade de modificação de produtos. As definições de Koste & Malhotra (1999) para estas dimensões são mostradas no Quadro 3.

Koste & Malhotra (1999) propuseram uma classificação hierárquica para as dimensões da flexibilidade que mostra os relacionamentos potenciais que podem existir entre elas (Figura 1). Essa classificação aborda as dimensões da flexibilidade a partir de pontos de vista interno e externo. Similarmente, Suarez *et al.* (1996) sugerem que as dimensões da flexibilidade podem ser organizadas de acordo com seus efeitos sobre a posição competitiva da empresa em relação ao mercado. Para Suarez *et al.* (1996), essa classificação está diretamente relacionada com a percepção das dimensões pelos clientes. A partir dessa percepção, eles identificam dois grupos principais: flexibilidades de “primeira ordem” e flexibilidades de “baixa ordem”. As flexibilidades de “primeira ordem” são aquelas que afetam diretamente a posição competitiva de uma empresa e são representadas pelas dimensões que podem ser percebidas e claramente interpretadas pelos clientes (*mix*, novos produtos e volume, por exemplo). Tratam-se, portanto, de flexibilidades externas que, na visão de Koste & Malhotra (1999), representam flexibilidades em nível de “planta” (volume, expansão, *mix*,

novos produtos e modificação), nível 3 da Figura 1. Flexibilidades de “baixa ordem” são aquelas que tem seus efeitos finais de incremento na competitividade expressos por meio de uma (ou mais) flexibilidade(s) de “primeira ordem”. Flexibilidades de “baixa ordem” são mais internalizadas e representam, na classificação de Koste & Malhotra (1999), flexibilidades no nível de “chão de fábrica” (roteamento e operação) ou de “recurso individual” (máquina, mão-de-obra e movimentação de material), níveis 2 e 1 da Figura 1, respectivamente.

Quadro 3 – Definições das dimensões de flexibilidade de manufatura

<b>Dimensão</b>	<b>Definição</b>
Máquina	O número e heterogeneidade (variedade) de operações que uma máquina pode executar, sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Mão-de-obra	O número e heterogeneidade (variedade) de tarefas/operações que um trabalhador pode executar sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Movimentação de material	O número de caminhos existentes entre centros de processamento e a heterogeneidade (variedade) de material que pode ser transportado ao longo desses caminhos sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Roteamento	O número de produtos que tem rotas substitutas e a extensão das variações entre as rotas usadas sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Operação	O número de produtos que têm planos de seqüenciamento substitutos e a heterogeneidade (variedade) dos planos usados sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Expansão	O número e a heterogeneidade (variedade) de expansões que podem ser acomodadas sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Volume	A extensão das mudanças e o grau de flutuação no nível agregado de saídas que o sistema pode acomodar sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
<i>Mix</i>	O número e a variedade (heterogeneidade) de produtos que podem ser produzidos sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Novos produtos	O número e a heterogeneidade (variedade) de novos produtos que são introduzidos na produção sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Modificação	O número e a heterogeneidade (variedade) de modificações de produtos que são realizados sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.

Fonte: Koste & Malhotra (1999, p. 81)



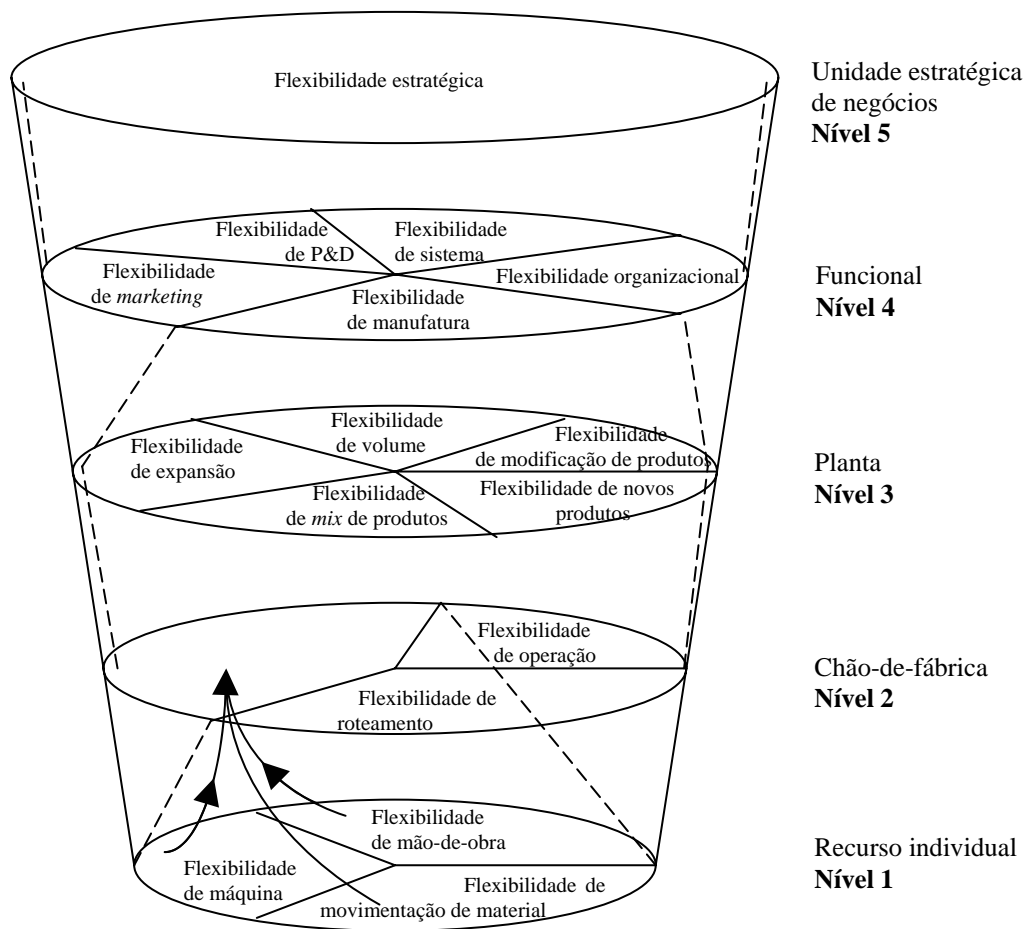


Figura 1 – Hierarquia das dimensões da flexibilidade

Fonte: Koste & Malhotra (1999, p.87).

Ainda na Figura 1, o nível 4 (nível funcional) da hierarquia inclui flexibilidade de manufatura, flexibilidade de *marketing* e flexibilidade de pesquisa e desenvolvimento – P&D. De acordo com Koste & Malhotra (1999), a flexibilidade de manufatura representa uma agregação das dimensões do nível de planta, podendo ser usada conforme a necessidade da função produção para sustentar a estratégia de manufatura. A flexibilidade organizacional relata, geralmente, a habilidade de mudar a estrutura organizacional. Flexibilidade de sistema reflete a flexibilidade fornecida pelos sistemas organizacionais, dentre eles, sistemas de planejamento e controle, sistemas de informação e sistemas de contabilidade, que atuam como restrições ou estímulos no desenvolvimento da flexibilidade. Flexibilidade de *marketing* e flexibilidade de P&D capturam a flexibilidade adquirida por outras duas áreas funcionais importantes.

O último nível (nível 5) é o de unidade estratégica de negócios. Esse nível é representado pela flexibilidade estratégica adquirida por uma organização, ou unidade estratégica de negócios, a qual permite responder às mudanças no ambiente competitivo. Essa dimensão envolve as demais do nível funcional, podendo compor desde uma arma competitiva até uma vantagem competitiva sustentável.

Cada dimensão da flexibilidade de manufatura é composta por diversos elementos (Slack, 1987, 1993; Upton, 1994, 1995; Koste, 1999; Koste & Malhotra, 1999; D'Souza & Williams, 2000) (Figura 2). O trabalho de Koste & Malhotra (1999) pode ser considerado como referencial para resumir os elementos da flexibilidade: número de faixa, heterogeneidade de faixa, mobilidade e uniformidade. Eles definem esses quatro elementos como constituintes que podem ser usados para definir o domínio de qualquer dimensão da flexibilidade de manufatura. O elemento de heterogeneidade de faixa foi definido recentemente na literatura por Koste & Malhotra (1999). Os dois primeiros elementos – número de faixa e heterogeneidade de faixa – foram definidos originalmente por Koste (1999) como uma subdivisão do elemento de faixa, freqüentemente citado por outros autores (Slack, 1993, 1987; Upton, 1994, por exemplo). Segundo Koste, a subdivisão do elemento de faixa em dois outros elementos captura a sua verdadeira extensão (Figura 3). O Quadro 4 apresenta uma caracterização dos elementos da flexibilidade de manufatura. Semelhantemente às dimensões da flexibilidade, existem diversas relações e *trade-offs* que podem ser observados para esses elementos das dimensões da flexibilidade (Koste & Malhotra, 2000).

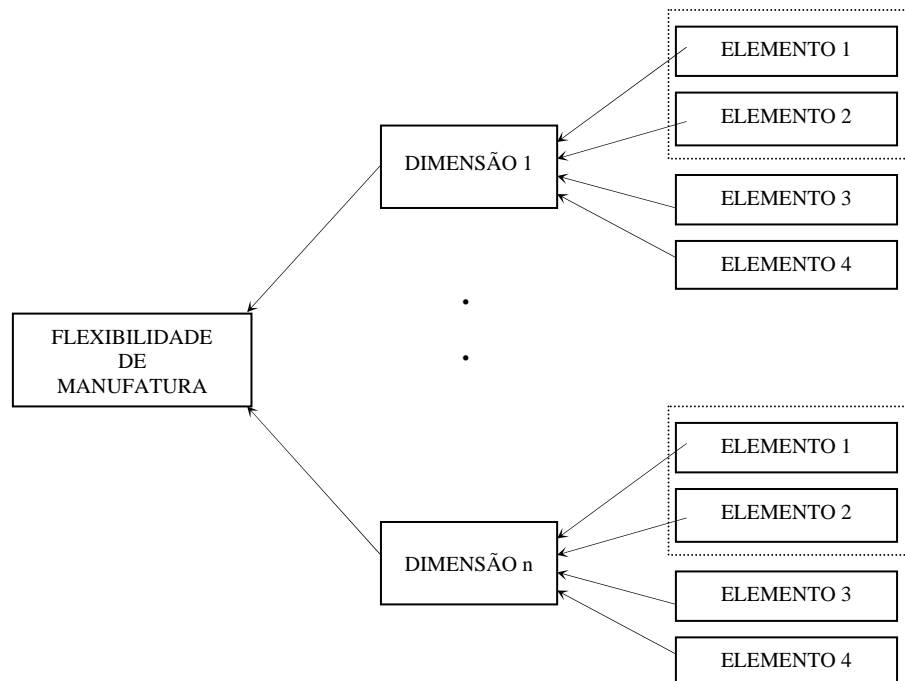


Figura 2 – Caracterização da flexibilidade de manufatura por dimensões e elementos

Fonte: Serrão (2001, p. 23)

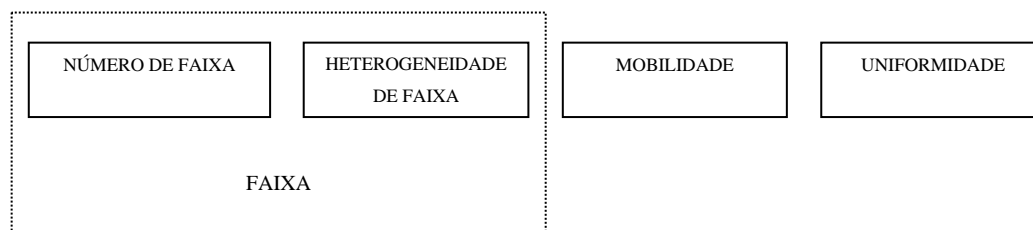


Figura 3 – Composição dos elementos da flexibilidade de manufatura

Fonte: Serrão & Dalcol (2001b)

Quadro 4 – Caracterização dos elementos da flexibilidade de manufatura

Elemento	Definição	Indicadores potenciais	Comentários
Número de faixa (N-F)	Representa o número de opções possíveis que sistema ou recurso pode atingir.	Número de opções (operações, tarefas, produtos etc.).	Um recurso ou sistema que pode operar em uma faixa mais ampla é considerado mais flexível do que um correspondente com uma faixa menor.  O elemento de N-F é estritamente numérico e contabiliza o número de opções flexíveis.
Heterogeneidade de faixa (H-F)	Não considera o número de opções, apenas o grau de diferenciação entre elas.	Heterogeneidade de opções (diferenças entre operações, tarefas, produtos etc.).	Em geral, uma maior heterogeneidade entre as opções necessita de um nível maior de habilidade na organização.  Uma maior heterogeneidade poderia ser associada com um sistema ou recurso mais flexível
Mobilidade (M)	Representa a facilidade com que uma organização se move de um estado para outro.	Penalidades de transição – tempo, custo, esforço de transição.	Corresponde a noção de “facilidade de movimento” proposta por Slack (1987)
Uniformidade (U)	Captura a similaridade de desempenho dentro da faixa.	Similaridades dos resultados de desempenho – qualidade, custos, tempo etc.	Um sistema menos flexível exibirá picos e vales nos resultados de desempenho.  A uniformidade pode ser avaliada por meio de um grande número de medidas de desempenho. Estes incluem, mas não estão limitados, a eficiência, produtividade, qualidade, tempos ou custos de processamento, ou custos de produtos.

Fonte: Criado a partir de Koste & Malhotra (2000, pp. 694-695) e Koste & Malhotra (1999, p. 79)

## 2.4

### Fatores de escopo e atingimento da flexibilidade

Koste *et al.* (2004) propõem dois novos fatores conceitualmente separados para a flexibilidade de manufatura que são “escopo” (*scope*) e “atingimento” (*achievability*) de respostas flexíveis. Esses fatores agrupam todos os quatro elementos da flexibilidade de manufatura em dois subgrupos (Figura 4). O fator de ‘escopo’ é composto pelos elementos de número de faixa e de heterogeneidade de faixa e “captura o escopo das respostas flexíveis, em termos de faixa total e

diversidade de opções (isto é, operações, produtos etc.) que a organização pode obter” (Koste *et al.*, 2004, p. 182). O fator de ‘atingimento’ é composto pelos elementos de mobilidade e uniformidade, e “representa o atingimento associado com as respostas flexíveis” (Koste *et al.*, 2004, p. 182). Em uma visão estendida do conceito do fator ‘atingimento’, Koste *et al.* (2004, p. 182) declaram que esse fator “captura as penalidades de curto-prazo (transientes) e de longo-prazo (duração) em que a organização incorre por invocar a resposta flexível”.

Koste & Malhotra (2000) consideram a contribuição individual de cada um dos quatro elementos da flexibilidade. De acordo com esse ponto de vista, a maior flexibilidade é atribuída ao recurso ou sistema que apresenta os maiores valores de número de faixa, heterogeneidade de faixa, mobilidade e uniformidade. Essa visão pode ser estendida à análise dos fatores de escopo e atingimento, considerando que uma empresa efetivamente utiliza sua flexibilidade quando atinge níveis elevados de escopo (número de faixa e heterogeneidade de faixa) e atingimento (mobilidade e uniformidade). Embora seja considerado muito difícil demonstrar níveis elevados para ambos os fatores simultaneamente (Koste *et al.*, 2004), pode-se considerar que quanto mais melhorias (incrementos) forem adquiridas em relação a esses fatores, mais flexível será o sistema produtivo. Os fatores de escopo e atingimento podem ser utilizados para analisar o nível de flexibilidade real apresentado pelo sistema produtivo.

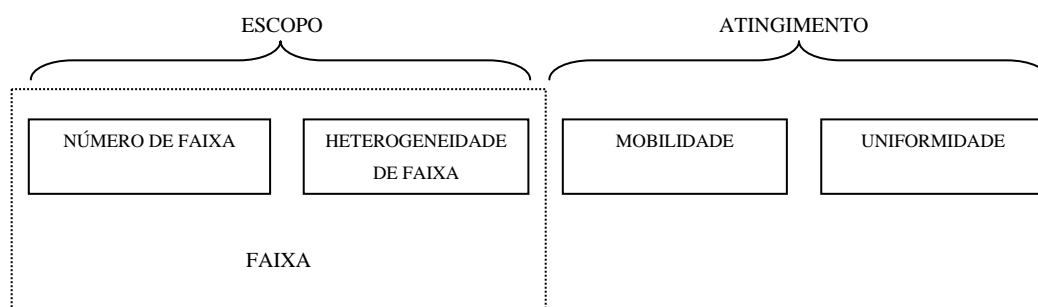


Figura 4 – Fatores de escopo e atingimento da flexibilidade de manufatura

Fonte: Adaptado de Serrão & Dalcol (2001b)