MEDIÇÃO DA FLEXIBILIDADE DE MANUFATURA

Rogério Odivan Brito Serrão
Departamento de Engenharia Industrial – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Rua Marques de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ, 22453-900 <rserrao@rdc.puc-rio.br>

Paulo Roberto Tavares Dalcol
Departamento de Engenharia Industrial – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Rua Marques de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ, 22453-900 <prtd@rdc.puc-rio.br>

Resumo: O estudo da flexibilidade de manufatura vem sendo intensificado ao longo das duas últimas décadas. Um aspecto de destaque nesse esforço pelo entendimento da flexibilidade é o desenvolvimento de medidas que permitam monitorar o desempenho dos sistemas relativamente ao seu grau de flexibilidade. A falta de um conjunto de medidas amplamente válidas para as diferentes dimensões da flexibilidade é um dos principais inibidores para o gerenciamento de sistemas produtivos que visem o uso dos benefícios da flexibilidade como vantagem competitiva. O objetivo deste artigo é discutir aspectos relacionados à medição da flexibilidade de manufatura, como classificação, avaliação e desenvolvimento de medidas. Destaca-se que os esforços para uma medição efetiva da flexibilidade devem abordar esses aspectos como essenciais tanto para validação dos modelos existentes quanto para a criação de novos.

Palavras-chave: Flexibilidade de manufatura, medição da flexibilidade, modelos de avaliação da flexibilidade

Abstract: *Researches approaching manufacturing flexibility have increased considerably during the last two decades. One remarkable aspect of the effort for understanding flexibility is the development of measures to assess the production systems' performance according to its degree of flexibility. The lack of a valid set of measures covering the several dimensions of flexibility is one of the main constraints for the utilization of flexibility as a competitive advantage. The main purpose of this paper is to discuss aspects related to the measurement of flexibility such as classification, evaluation, and development of measures. These aspects are essential to the validation of existing measurement models as well as to the creation of new ones.*

Key words: *Manufacturing flexibility, measurement of flexibility, flexibility evaluation models*

1 INTRODUÇÃO

A flexibilidade de manufatura é reconhecidamente uma importante fonte de vantagem competitiva para as empresas, especialmente em função das características do ambiente competitivo atual, como: crescente disputa por mercados, curtos ciclos de vida de produtos, rápidas mudanças tecnológicas, variações de demanda, crescente customização e demanda por curtos tempos de entrega.

Embora tenham ocorrido avanços no estudo da flexibilidade de manufatura nas duas últimas décadas, muitos aspectos precisam ser mais explorados para que seja atingido um nível mais elevado de entendimento quanto à natureza da flexibilidade e suas influências sobre a competitividade das empresas. Dentro dessa perspectiva, destaca-se a necessidade de obtenção de meios que permitam medir a flexibilidade, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos. Atualmente, não há conhecimento de um modelo amplamente aceito para essa tarefa. Contudo, a sua importância e benefícios são bastante claros. Por exemplo, o processo de tomada de decisão pode ser potencializado pelo conhecimento da medida da flexibilidade e pelo monitoramento de sua evolução e de suas influências sobre o desempenho da empresa. Além disso, a justificativa para novos investimentos de

capital visando a melhoria da flexibilidade, tal como a aquisição de um sistema flexível de manufatura (*Flexible Manufacturing System* – FMS), não poderia ser financeiramente plausível sem a consideração das bases de sua efetiva medição (De Toni & Tonchia, 1998).

Em geral, as medidas propostas na literatura abordam uma ou poucas dimensões da flexibilidade e, em alguns casos, setores ou indústrias específicas. Em anos recentes, o direcionamento para pesquisas relacionadas à medição e avaliação da flexibilidade de manufatura tem sido o foco de muitos autores, como D'Souza & Williams (2000), Vokurka & O'Leary-Kelly (2000), Zukin & Dalcol (2000), Parker & Wirth (1999), Koste (1999), Koste & Malhotra (1999), Das (1996), Gupta (1993), Kochikar & Narendran (1992), Barad & Sipper (1988), entre outros. A busca por medidas generalizáveis tem proporcionado um leque grande de propostas, segundo os mais variados critérios de análise (dependendo do ponto de vista de cada autor). Diversas propostas de medição têm sido discutidas e analisadas em estudos como os de Beach *et al.* (2000), Parker & Wirth (1999) e Gupta & Goyal (1989).

Este artigo contempla uma visão sobre a medição da flexibilidade de manufatura. O seu objetivo é gerar uma discussão que resulte na definição de aspectos que possam ser considerados essenciais para o desenvolvimento de medidas de flexibilidade. Inicialmente, faz-se uma abordagem sobre a classificação de medidas da flexibilidade de manufatura. Em seguida, apresentam-se modelos propostos para avaliação da qualidade das medidas, com ênfase a garantia de confiabilidade e validação de medidas encontradas na literatura ou definição de novas. Logo após, segue-se à discussão de aspectos relacionados ao desenvolvimento de novas medidas, com destaque aspectos metodológicos e de projetos importantes a sua obtenção.

2 – CLASSIFICAÇÃO DAS MEDIDAS DE FLEXIBILIDADE DE MANUFATURA

Uma maneira simplificada de classificar as medidas de flexibilidade de manufatura é posicioná-las em dois grandes grupos: medidas qualitativas e medidas quantitativas. Embora seja aplicável, essa forma de classificação pode ser restritiva, pois depende do foco e da ênfase dada ao estudo, não permitindo, internamente aos grupos, a completa caracterização das diferenças entre as medidas. Sendo assim, somente uma classificação mais ampla poderia capturar de forma mais precisa a heterogeneidade existente entre as diversas medidas (Beach *et al.*, 2000).

Gupta & Goyal (1989) apresentaram uma classificação baseada no modo como diversos pesquisadores definiram flexibilidade e a abordagem usada para medi-la. Internamente a cada categoria criada, as medidas foram alocadas seguindo uma distinção entre estudos qualitativos e quantitativos. Desse modo, foram definidos seis grupos: (1) medidas baseadas em conseqüências econômicas, (2) medidas baseadas em critérios de desempenho, (3) a abordagem multidimensional, (4) a abordagem por Redes de Petri, (5) a abordagem teorizada na informação e (6) a abordagem teorizada na decisão.

Beach *et al.* (2000) introduziram uma categorização ampliada da diferenciação entre pesquisas qualitativas e quantitativas direcionadas a identificar e medir a flexibilidade. Para esses autores, as características e a natureza da flexibilidade estão intimamente associadas a sua medição. Essa classificação é, de certo modo, uma expansão da classificação de Gupta & Goyal (1989) e considera uma abordagem para a alocação das diferentes pesquisas partindo de um grupo maior (qualitativas ou quantitativas) para então serem construídas as suas subdivisões.

Assim, Beach *et al.* (2000, p. 50) definem as pesquisas qualitativas como sendo aquelas que "tendem a lidar com aspectos gerais, focalizados sobre conceitos, tais como os relacionados à tecnologia de processo e estratégia de negócios". Esse grupo pode ser desdobrado em estudos direcionados a: (1) identificação de dimensões de flexibilidade, (2) investigação das relações entre flexibilidade e produtividade, (3) apresentação de *frameworks* para a produção e (4) apresentação de estratégias para aumentar a flexibilidade.

As pesquisas quantitativas, na definição de Beach *et al.* (2000, p.50), "tendem a ser direcionadas a aspectos específicos da manufatura e são, usualmente, de natureza operacional". Nesse grupo, destacam-se diversas técnicas empregadas no desenvolvimento de medidas para a flexibilidade. Dentre estas se têm: (1) modelagem por caminho analítico (*Path Analytic Modelling*), (2) modelagem por Redes de Petri, (3) teorizada na informação, (4) teorizada na decisão, (5) análise financeira, (6)

baseada em valor, (7) teorizada em contingência, (8) teorizada na medida e (9) análise de dados empíricos.

No nível de sistema, Sarker *et al. apud* Beach *et al.* (2000, p.51) introduziram uma classificação das medidas da flexibilidade de manufatura focalizada mais no tratamento do assunto do que nas técnicas usadas, distinguindo assim duas abordagens: (1) agregada – "a unificação ou integração de medidas de subsistemas individuais dentro de uma quantificação da flexibilidade de manufatura do sistema" e (2) atributo – "a construção de uma medida de flexibilidade de manufatura baseada em parâmetros selecionados a partir da intercessão das seções das funções de sistema de manufatura que contribuem para a flexibilidade".

De Toni & Tonchia (1998), após extensa análise da literatura, estabeleceram um esquema de classificação que aborda três categorias básicas de medidas (ou indicadores) de flexibilidade: diretas (objetiva ou subjetiva), indiretas (relativas a certos aspectos do sistema de manufatura que podem determinar a flexibilidade ou desempenhos relacionados) e sintéticas. A Figura 1 apresenta esta classificação, que pode ser considerada uma das propostas mais representativas.

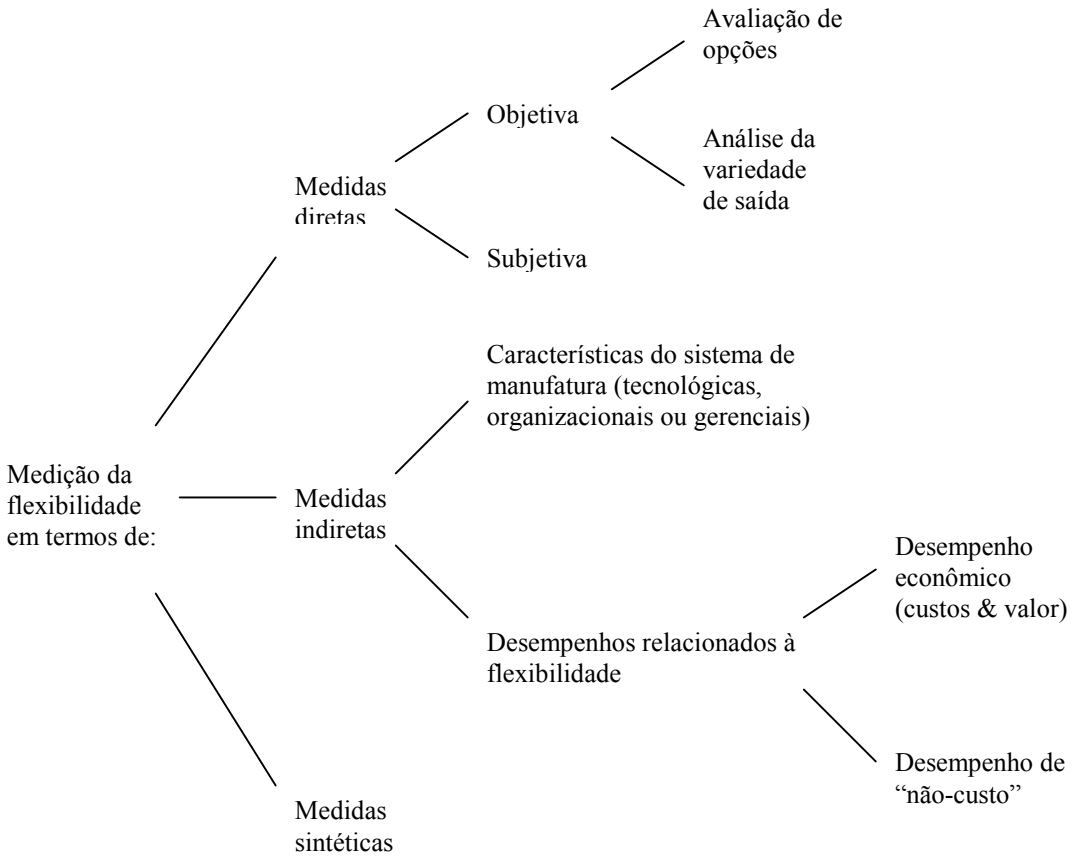


Figura 1 – Classificação das medidas de flexibilidade
Fonte: De Toni & Tonchia (1998, p.1605)

Segundo De Toni & Tonchia (1998), medidas diretas objetivas consistem na avaliação das opções possíveis em um determinado instante, ou na análise da variedade de certos aspectos de saída do sistema produtivo (volumes de produção, níveis de desempenho etc). Medidas diretas subjetivas são perceptuais e baseadas, por exemplo, em opiniões dadas sobre vários aspectos relacionados à flexibilidade, nas quais são expressos os graus de concordância/discordância sobre afirmativas específicas.

Medidas indiretas consideram características do sistema de manufatura (tecnológicas, organizacionais ou gerenciais) que possibilitam a flexibilidade de manufatura ou determinam

desempenhos relacionados a flexibilidade, podendo ser: (a) econômicos (de custo ou valor) ou (b) "não custo" (tempo de desenvolvimento de produtos, tempo de entrega, qualidade, serviço ao cliente etc.) (De Toni & Tonchia, 1998).

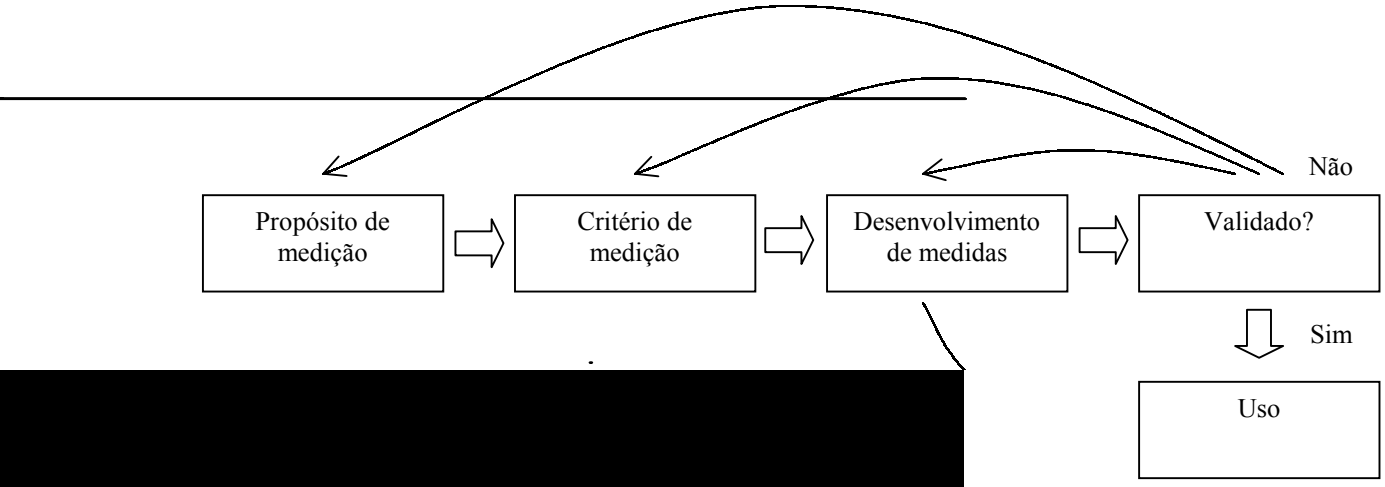
Por fim, as medidas sintéticas visam a obtenção de um indicador agregado simples, baseado na síntese das varias medidas parciais tomadas para as diversas dimensões da flexibilidade. De acordo com De Toni & Tonchia (1998), essa abordagem é considerada na classificação vertical da flexibilidade e requer regras para a composição das medidas elementares em medidas agregadas, considerando, ainda, que os dados devem ser completos, homogêneos e faseados (definidos em períodos) para que possam ser operacionalizados em conjunto.

3 AVALIAÇÃO DE MEDIDAS DA FLEXIBILIDADE DE MANUFATURA

O grande desafio para o gerenciamento da manufatura flexível está em encontrar meios para testar se são razoáveis ou não as medidas de flexibilidade que são usadas em seus processos de tomada de decisão relacionados tanto ao projeto quanto à operação de sistemas de manufatura (Gupta & Buzacott, 1996). Aqui são apresentadas duas propostas encontradas na literatura.

Parker & Wirth (1999) introduziram um modelo para avaliação e desenvolvimento de medidas para a flexibilidade de manufatura mostrado na Figura 2. Com este modelo, eles propuseram uma análise comparativa entre várias medidas encontradas na literatura. O objetivo dessa análise foi de apresentar as 'melhores' medidas para diversas dimensões da flexibilidade. Os autores consideram que a garantia de consistência para as medidas da flexibilidade está diretamente ligada à discussão dos seus propósitos e critérios de medição (quantitativos ou qualitativos) pelos quais essas medidas podem ser avaliadas. Os propósitos de medição estão relacionados à coerência entre os objetivos apresentados nas propostas de medidas e as características das dimensões abordadas. Os critérios de medição são analisados separadamente dos propósitos de medição, sendo considerados os elementos gerados para a obtenção da medida.

Parker & Wirth (1999) aplicaram seu modelo a diversas propostas de medidas para oito dimensões da flexibilidade de manufatura. A medida "vencedora" para cada dimensão seria aquela que incorporasse o maior número de critérios, ou potencialmente uma soma ponderada desses critérios, se um certo critério fosse considerado mais importante que outros. Como resultado foram validadas medidas para cinco dimensões da flexibilidade – máquina, processo, produto, roteamento e operação – e, ainda, propostas novas medidas para duas outras dimensões – volume e expansão.



e medidas de flexibilidade
432)

orma de avaliar a aplicabilidade de
roposta está na consideração de que,
a testar a qualidade de suas medidas.
não suficientes para garantir a boa

qualidade da medição. Trata-se de dois axiomas aos quais as medidas de flexibilidade devem satisfazer, como segue:

Axioma 1*: O conjunto de atributos relevantes deve incluir todas as características do sistema que afetam o seu desempenho.*

A idéia contida nesse axioma é de que o foco de análise deve estar nos atributos que possam ser considerados como candidatos a comporem a medida. Embora pareça uma consideração óbvia ou elementar, Gupta & Buzacott (1996) identificaram diversas propostas de medidas de dimensões da flexibilidade que não atendiam a esse axioma.

Axioma 2*: Seja o ambiente* θ_2 *mais incerto que o ambiente* θ_1*, e* $\overline{A}_1$ *e* $\overline{A}_2$ *dois sistemas de manufatura (conjuntos de atributos), tal que* $F(\overline{A}_2) > (=) F(\overline{A}_1)$*. Então, o que segue deve ser verdadeiro.*

$$P(\overline{A}_1; \theta_1) - P(\overline{A}_1; \theta_2) > (=) P(\overline{A}_2; \theta_1) - P(\overline{A}_2; \theta_2) \qquad (1)$$

onde, $\overline{A}_j$ (j=1,2) *denota um conjunto de k atributos relevantes do sistema,* $\overline{A}_j = (a_1, a_2, ..., a_k)$*.* $F(\cdot)$ *é a medida da dimensão de flexibilidade de interesse.* $P(\cdot)$ *é a função que determina o melhor valor de desempenho da medida escolhida para um dado valor de um conjunto de atributos do sistema,* $\overline{A}_j$*, e a incerteza do ambiente* θ_i (i = 1, 2)*. Assume-se que, em geral, valores superiores de* $P(\cdot)$ *implicam melhor desempenho.*

O Axioma 2 prevê que o conjunto de atributos considerado resulta em uma medida mais ampla da flexibilidade, podendo esta ser associada a uma menor variação no desempenho do sistema quando o ambiente se torna mais incerto.

Para ilustrar essa situação, considere-se duas máquinas distintas operando em um mesmo sistema produtivo (ambiente de incerteza θ_1); a máquina 1 sendo convencional (não-reprogramável) e a máquina 2, comandada por computador (reprogramável), ambas sendo utilizadas para fabricar o mesmo *mix* de produtos. Os conjuntos de atributos $\overline{A}_1$ *e* $\overline{A}_2$, pertencentes às máquinas 1 e 2, respectivamente, podem ser formados por: número de operações distintas que a máquina pode executar; tempo e custo de preparação da máquina para produzir um novo produto; e a proporção de produtos defeituosos. Para a análise, considera-se, ainda, a premissa de que a máquina 2 é mais flexível que a máquina 1, ou seja, a máquina 2 possui um melhor desempenho, relativamente à máquina 1. Ainda, a dimensão de flexibilidade considerada é a de *mix* de produtos.

Um aumento de incerteza no sistema pode ser representado pela introdução de novos produtos no *mix* de produtos, por exemplo. Conseqüentemente, tem-se a geração de um ambiente θ_2. Na transição das duas máquinas do ambiente θ_1 para o ambiente θ_2, mais incerto, acredita-se que a máquina 2 seja capaz de adequar-se mais facilmente as novas condições de operação, mantendo uma menor queda no seu desempenho, o que comprovaria a sua maior flexibilidade.

Nesse exemplo, a aceitação da medida de flexibilidade de *mix* de produtos, segundo o Axioma 2, ocorrerá se tal medida for capaz de assimilar a variação no desempenho das duas máquinas e comprovar a maior flexibilidade da máquina 2, nos dois ambientes.

Segundo Gupta & Buzacott (1996), sob condições específicas, é possível que um sistema menos flexível $\overline{A}_1$ apresente um desempenho superior (em termos absolutos) que um sistema $\overline{A}_2$, considerando cada um dos dois ambientes. Ou seja, a equação (1) pode ser mantida mesmo se $P(\overline{A}_1; \theta_1) > P(\overline{A}_2; \theta_1)$ e $P(\overline{A}_1; \theta_2) > P(\overline{A}_2; \theta_2)$. Ainda, é possível que o desempenho melhore quando a incerteza é aumentada. A condição (1) é mantida para tais casos com a seguinte interpretação: sempre que a mudança orientada no desempenho é negativa, uma maior flexibilidade obrigatoriamente implica uma maior mudança absoluta no desempenho.

4 DESENVOLVIMENTO DE MEDIDAS DA FLEXIBILIDADE DE MANUFATURA

Embora seja evidente a importância da medição da flexibilidade, na prática essa medição não é uma tarefa simples, pois os aspectos a ela relacionados (incertezas nos ambientes interno e externo, capacidade das máquinas, habilidades da mão-de-obra, métodos gerenciais, tecnologias de processo, tecnologia de informação etc.) são muito diversificados e geram grande complexidade quando na sua análise. Em geral, esses aspectos constituem elementos perceptivos pouco quantificáveis. Além disso, há a necessidade de um amplo conhecimento do domínio da flexibilidade de manufatura (considerando uma abordagem multidimensional), assim como, das complexas relações e *trade-offs* existentes entre suas dimensões e seus elementos. Com isso, não existe um método ou modelo que seja amplamente aceito (Parker & Wirth, 1999), especialmente por não se poder garantir a sua validade e confiabilidade.

D'Souza & Williams (2000) obtiveram de seu estudo a construção de itens de medição para quatro dimensões (volume, variedade, processo e movimentação de materiais) e dois elementos (faixa e mobilidade) da flexibilidade de manufatura que podem ser usados na obtenção de medidas mais confiáveis. Embora seu estudo tenha limitações, especialmente em decorrência do número limitado de dimensões, ele serve de indicativo para futuras pesquisas nessa área.

Koste (1999) apresenta um conjunto amplo de itens múltiplos para a medição de seis dimensões (máquina, mão-de-obra, movimentação de materiais, *mix* de produtos, novos produtos e modificação de produtos) e quatro elementos (número de faixa, heterogeneidade de faixa, mobilidade e uniformidade). Essa construção é mais completa que a de D'Souza & Williams (2000) e representa o melhor registro encontrado na literatura para servir de base para estudos sobre medição.

Para gerar seus itens de medição, Koste (1999) utilizou como instrumento de desenvolvimento o modelo de Churchill. Segundo Koste, este modelo incorpora as duas propriedades desejáveis para medição: confiabilidade e validação. Ainda, ambas propriedades devem existir para que uma medida possa ser considerada "boa". Por ser amplamente aceito e validado por pesquisadores, o modelo de Churchill é indicado para o desenvolvimento de novos itens de medição para a flexibilidade. A Figura 3 resume este modelo.

A etapa 1 (especificar o domínio de construção) diz respeito a delimitar o domínio de pesquisa a ser tratado. No caso da medição da flexibilidade, envolve basicamente pesquisa bibliográfica para o melhor entendimento da natureza da flexibilidade, definição das dimensões e elementos a serem medidos. A etapa 2 prevê a geração dos itens de medição, podendo ser conseguida de diferentes modos, como a incorporação ou adaptação de escalas preexistentes e pesquisa bibliográfica visando itens relevantes. É extremamente importante a geração de itens múltiplos para as diferentes dimensões da flexibilidade. A etapa 3 segue das duas anteriores para uma coleta de dados, visando a etapa 4. Na etapa 4 é feita a purificação dos itens gerados, especialmente dos que não tenham sido previamente envolvidos em esforços de desenvolvimento de escalas. Esta etapa é direcionada a uma validação preliminar, podendo-se utilizar recursos estatísticos e *surveys* com profissionais experientes. Os itens purificados são submetidos a etapa 5, uma nova coleta de dados, visando as etapas 6 e 7, avaliação da confiabilidade e validação dos itens de medida, respectivamente. As etapas 6 e 7 envolvem o uso de ferramentas e métodos de análise, especialmente estatísticos, para que sejam garantidas essas duas propriedades de medição. Por fim, a etapa 8 caracteriza-se pela criação de padrões para os itens de medição qualificados nas duas etapas anteriores.

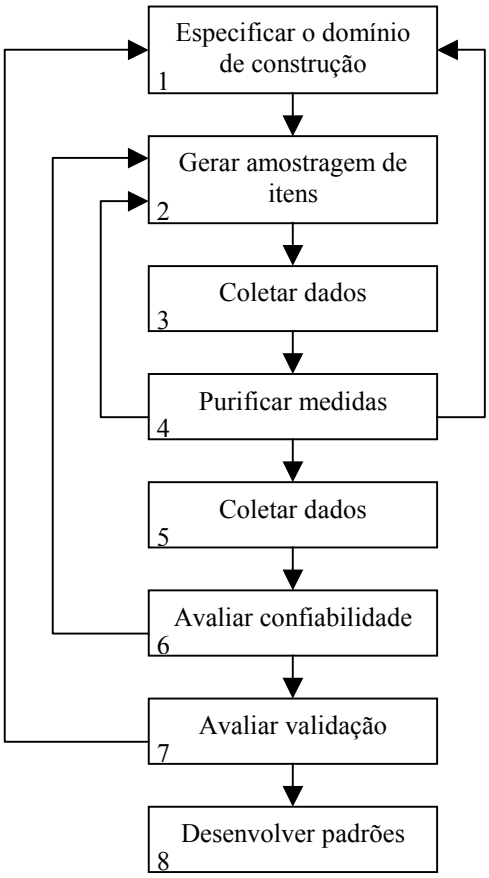


Figura 3 – Modelo de Churchill para o desenvolvimento de medições
Fonte: Adaptado de Koste (1999, p.132)

Para que haja uma melhoria na precisão e no escopo das pesquisas sobre medição da flexibilidade, com base no estudo de Vokurka & O'Leary-Kelly (2000), o seguinte conjunto de aspectos metodológicos e de projeto é sugerido:

1. **Foco sobre aspectos multidimensionais da flexibilidade de manufatura**: a flexibilidade é essencialmente um conceito multidimensional e relativo. Sugere-se a incorporação de elementos que afetam a operacionalização da flexibilidade, como tecnologia de processo, técnicas de gerenciamento da produção e de recursos humanos, processo de desenvolvimento de produtos e tecnologia de informação. Ainda, deve-se buscar abordar a integração das relações de hierarquia (vertical e horizontal) e *trade-offs* entre as diversas dimensões da flexibilidade.
2. **Uso de medidas que abordem itens múltiplos**: a multidimensionalidade da flexibilidade sugere que seja abordado o maior numero de itens de medição possível. No entanto, alerta-se que há a necessidade de seleção dos itens mais relevantes para que não ocorra distorção no resultado da medição.
3. **Garantia de avaliação tanto da confiabilidade quanto da validade das medidas**: confiabilidade e validade são as propriedades essenciais para uma boa medição. A avaliação de tais propriedades pode ser feita por meio de critérios de validação ou, ainda, por coeficientes de análise estatística.
4. **Uso de múltiplos informantes**: especialmente em itens de medição com características qualitativas (pesquisa empírica). Deve-se evitar o uso de informante único, isso para que as tendências pessoais e, conseqüentemente, seus efeitos não induzam os resultados da medição a erros.

5. **Uso de recursos estatísticos e considerações referentes a unidade de análise**: é importante o uso correto de recursos estatísticos, visando rejeitar as hipóteses falsas quando elas forem falsas. Ou melhor, evitar que equívocos como a aceitação de uma hipótese falsa venha a ocorrer no uso de ferramentas estatísticas. Isso pode dificultar uma interpretação acertada de resultados realmente falsos. As considerações referentes a unidade de análise envolvem a melhor caracterização do nível, ou amplitude, da pesquisa. Percebe-se que muitos estudos são direcionados a unidade de negócios simples, como firmas individuais e divisões autônomas. Essa abordagem pode trazer sérias limitações, como a não homogeneidade do nível de flexibilidade ao longo da planta, ou ainda, ao longo de uma diversidade de plantas. Com isso, deve-se analisar cautelosamente a unidade de análise na medição da flexibilidade. Sugere-se uma abordagem mais operacional, especialmente no nível de planta, por ser onde os efeitos da flexibilidade de manufatura mais se manifestam.
6. **Generalização das medidas**: a generalização das medidas é desejável, embora seja reconhecidamente uma tarefa difícil, devido a características próprias de cada sistema produtivo, especialmente em setores diferenciados. Em função disso, a obtenção de medidas generalizáveis de flexibilidade viria por meio de estudos multi-setoriais, utilizando instrumentos que abordassem de forma mais consistente a operacionalização da flexibilidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O nível da capacidade gerencial para uma manufatura flexível, ou seja, quão bem uma manufatura flexível pode ser gerenciada, depende diretamente de quão bem a flexibilidade pode ser medida. A falta de habilidade em medir a flexibilidade de forma mais acurada pode ser considerada como uma das razões pelas quais a sua utilização tem encontrado barreira ao seu sucesso (Lenz, 1992). Assim, sem uma medição efetiva torna-se difícil o gerenciamento visando todos os benefícios de um ambiente de manufatura flexível. Isso, sem dúvida, torna a medição um fator de grande relevância para o direcionamento das estratégias relacionadas à flexibilidade nas empresas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARAD, M., SIPPER, D. Flexibility in manufacturing systems: definitions and Petri net modelling. International journal of production research, v. 26, n. 2, pp. 237-248, 1988.

BEACH, R., MUHLEMANN, A. P., PRICE, D. H. R. *et al.* A review of manufacturing flexibility. European journal of operational research, v. 122, n.1, pp. 41-57, 2000.

DAS, K. S. The measurement of flexibility in manufacturing systems. The international journal of flexible manufacturing systems, v. 8, pp. 67-93, 1996.

D'SOUZA, D. E., WILLIAMS, F. P. Toward a taxonomy of manufacturing flexibility dimensions. Journal of operations management, v. 18, n. 5, pp. 577-593, 2000.

DE TONI, A., TONCHIA, S. Manufacturing flexibility: a literature review. International journal of production research, v. 36, n. 6, pp. 1587-1617, 1998.

GUPTA, D. On measurement and valuation of manufacturing flexibility. International journal of production research, v. 31, n. 12, pp. 2947-2958, 1993.

GUPTA, D., BUZACOTT, J. A. A "goodness test" for operational measures of manufacturing flexibility. The international journal of flexible manufacturing systems, v. 8, pp. 233-245, 1996.

GUPTA, Y. P., GOYAL, S. Flexibility of manufacturing systems: concepts and measurements. European journal of operational research, v. 43, pp. 119-135, 1989.

KOCHIKAR, V. P., NARENDRAN, T. T. A framework for assessing the flexibility of manufacturing systems. International journal of production research, v. 30, n. 12, pp. 2873-2895, 1992.

KOSTE, L. L. Measurement of manufacturing flexibility and its implications for supply chain management. Ph.D. dissertation. Darla Moore School of Business, University of South Caroline, 1999.

KOSTE, L. L., MALHOTRA, M. K. A theoretical framework for analyzing the dimensions of manufacturing flexibility. Journal of operations management, v. 18, n. 1, pp. 75-93, 1999.

LENZ, J. E. How well can flexibility be measured? Industrial engineering, v. 24, n. 6, pp. 14-15, 1992.

PARKER, R. P., WIRTH, A. Manufacturing flexibility: measures and relationships. European journal of operational research, v. 118, n. 3, pp. 429-449, 1999.

VOKURKA, R. J., O'LEARY-KELLY. A review of empirical research on manufacturing flexibility. Journal of operations management. v. 18, n. 4, pp. 485-501, 2000.

ZUKIN, M., DALCOL, P. R. T. Manufacturing flexibility: assessing managerial perception and utilization. The international journal of flexible manufacturing systems, v. 12, n. 1, pp. 5-23, 2000.