

# Cálculo e análise da capacidade produtiva utilizando o processo de Markov: estudo de caso de uma empresa têxtil

*Calculation and analysis of production capacity using the Markov process: a case study of a textile company*

Diego Milnitz

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.  
Florianópolis, SC [Brasil]  
dmilnitz@bol.com.br

Monica Maria Mendes Luna

Doutora em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.  
Florianópolis, SC [Brasil]

Antonio Sergio Coelho

Licenciado em Matemática, Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.  
Florianópolis, SC [Brasil]

## Resumo

Para que as organizações possam manter-se competitivas em seus mercados de atuação, é importante que seus líderes realizem uma gestão eficiente dos recursos produtivos existentes, isto é, tenham conhecimento sobre a capacidade de atendimento dos processos com relação às demandas atuais e futuras de seus clientes, bem como desenvolvam planos de ações contingenciais para eventos aleatórios. A proposta nesta pesquisa consiste em incluir fatores como rejeitos e retrabalhos para calcular a capacidade produtiva. A matriz de transição estocástica da cadeia de Markov é aplicada no cálculo do fator de capacidade que, posteriormente, viabiliza o cálculo e a análise da capacidade real necessária dos processos. Para exemplificar a eficácia do método, uma aplicação prática com dados de uma empresa têxtil é apresentada, demonstrando, assim, que o método proposto tem grande contribuição para análise desse tipo de cenário e mostra-se promissor para estudos mais estratégicos relacionados com investimentos em processos produtivos.

**Palavras-chave:** Capacidade produtiva. Indústria têxtil. Matriz de transição de Markov.

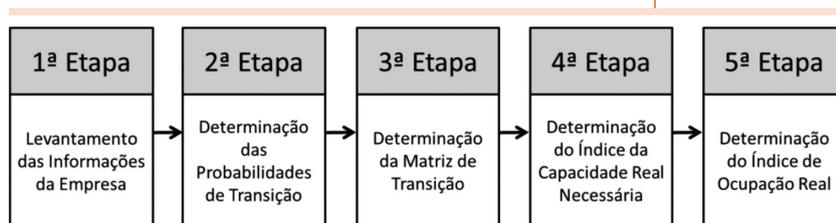
## Abstract

In order for organizations to remain competitive in their respective markets, it is important that their leaders manage efficiently existing production resources. That is, they need to understand the capacity of processes with respect to current and future demands of customers, as well as develop contingency action plans to respond to random events. The purpose of this study is to include factors such as rejects and rework to calculate production capacity. The stochastic transition matrix of the Markov chain is applied to calculate the capacity factor, which subsequently enables calculating and analyzing the actual capacity required by processes. To illustrate the effectiveness of the method, a practical application with data from a textile company is presented, demonstrating that the proposed method contributes significantly to the analysis of this type of scenario and shows promise for more strategic studies related to investments in production processes.

**Key words:** Markov transition matrix. Production capacity. Textile industry.



acabamento por ser o de maior ineficiência produtiva, segundo seus gestores. O levantamento dos dados foi efetuado por meio de relatórios produtivos existentes em planilhas de controle e sistema de informação. Além disso, algumas entrevistas não estruturadas foram realizadas com os gestores e técnicos para compreender melhor como os processos funcionavam. Na Figura 1, apresenta-se um esquema com as etapas da pesquisa.



**Figura 1: Fluxo das etapas da metodologia da pesquisa**

Fonte: Adaptado de Staudt et al. (2011).

**1ª Etapa:** consiste no levantamento de informações referentes ao fluxo produtivo; ao *mix* de produtos; à quantidade de rejeitos; aos retrabalhos; às horas paradas não planejadas, entre outras.

**2ª Etapa:** realiza-se a determinação das probabilidades de transição, ou seja, a averiguação das propriedades de Markov – construção do fluxo produtivo com as probabilidades de transição.

**3ª Etapa:** determina-se, a partir da definição das probabilidades, a matriz de transição, que consiste em construir a própria matriz e realizar os cálculos da matriz  $(I-N)^{-1}$ .

**4ª Etapa:** efetua-se, com os valores calculados da 3ª Etapa, a determinação da capacidade real necessária, isto é, o cálculo dos índices de eficiência de cada setor produtivo e o respectivo cálculo da capacidade real necessária.

**5ª Etapa:** determina-se o índice de ocupação real que consiste no cálculo dos tempos-padrão médios, e o cálculo do percentual de ocupação real para cada setor produtivo.

### 3 Capacidade produtiva

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), a capacidade produtiva pode ser compreendida como um potencial produtivo que uma empresa possui. Além disso, Kato, Takaki e Souza (2003) acrescentam que ela representa o volume ideal de produção que uma organização pode realizar, seja de produtos ou de serviços.

Para Watts et al. (2009), a capacidade produtiva serve para avaliar e identificar a produção relativa e a utilização não produtiva de uma empresa. Portanto, a forma como ela é calculada e apresentada influencia nas determinações gerenciais e na *performance* econômica da organização.

Entretanto, o cálculo da capacidade produtiva de uma empresa pode alterar dependendo do tipo de dados e da cultura da organização. Geralmente, define-se como sendo uma relação entre o valor observado e alguma medida de capacidade de fluxo de atividade, isto é, capacidade produtiva realizada é igual à razão entre a saída observada e a medida de capacidade de saída teórica (SALIM, 2001).

Outra forma de medir o desempenho da produção é dada por Peinado e Gaeml (2007). Estes pesquisadores apresentam um indicador de eficiência do processo produtivo, que mostra quanto a organização consegue produzir a partir de uma programação da demanda dentro de um tempo disponível, ou seja:

$$E = \frac{HT}{HD} \quad (1)$$

Em que:

E = Eficiência.

HT = Horas Trabalhadas.

HD = Horas Disponíveis.

As “horas disponíveis” são a carga horária diária de trabalho de uma empresa, e as “horas trabalhadas” são o resultado da subtração da carga horária diária de trabalho pelos horários de paradas planejadas do sistema. Dentre as diversas paradas que ocorrem em um processo, destacam-se as planejadas, que se constituem de tempo de *set-up*, horas de exercício laboral, refeição, etc. Estas devem estar incluídas no tempo programado pelo Planejamento e Controle da Produção (PCP) dentro das horas disponíveis do dia.

Staudt et al. (2011) também relatam a importância dos tempos de paradas organizacionais, afirmando que essas paradas devem ser consideradas no cálculo da capacidade produtiva. Portanto, fatores como eficiência, refugos e retrabalhos precisam ser considerados nesses cálculos. Para encontrar a capacidade real necessária, os autores relacionaram a eficiência a um fator de capacidade multiplicado por uma demanda. O fator de capacidade contabiliza a capacidade utilizada pelas peças programadas no início do processo. Para o cálculo deste fator, é necessário aplicar o modelo estocástico de cadeia de Markov, que, por meio da sua matriz de transição, mostra a quantidade utilizada do recurso para produzir uma peça. Este valor considera os refugos e retrabalhos e, consequentemente, faz aumentar a capacidade necessária para atingir a demanda, ou seja:

$$CRN = \frac{FC}{E} * D \quad (2)$$

Em que:

CRN = Capacidade Real Necessária.

FC = Fator de Capacidade.

E = Eficiência.

D = Demanda.

A capacidade real necessária indica quanto o centro produtivo precisa ter de recursos para obter

a demanda real no final do processo. Entretanto, este valor não mostra a necessidade de novos investimentos para atender a um aumento de demanda. Para isso, é preciso avaliar o percentual de ocupação de cada setor produtivo, que pode ser definido pela equação 3:

$$OR = \frac{TPM * D}{HD * NR} * I \quad (3)$$

Sendo,

OR = Ocupação Real.

TPM = Tempo-padrão Médio.

D = Demanda.

HD = Horas Disponíveis.

NR = Número de Recursos.

I = % de Incremento.

Em que “tempo-padrão médio” é o tempo necessário para executar uma operação de acordo com um método estabelecido, em condições determinadas, por um operador apto e treinado, possuindo uma habilidade média, trabalhando com esforço médio, durante todas as horas do serviço (LEAL et al., 2005). A demanda é a quantidade desejada de produtos no final do processo. O número de recursos é a quantidade de máquinas ou postos de trabalho que executam a mesma tarefa. E o “% de incremento” é a razão entre a capacidade real necessária e a demanda do processo produtivo (STAUDT et al., 2011).

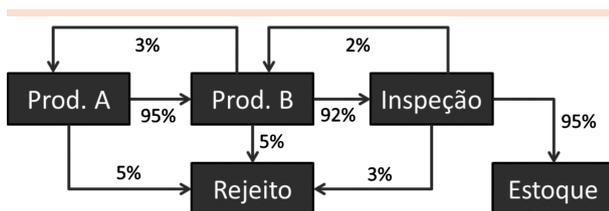
## 4 Processo de Markov

Um processo de Markov é um processo estocástico em que as distribuições de probabilidade para o seu desenvolvimento futuro dependem somente do estado presente, não levando em consideração como o processo chegou a tal estado (BORTOLOTTI et al., 2007).

Ainda segundo os autores esse processo é modelo, por sistemas de transição de estados, em que os estados são representados em termos de seus vetores probabilísticos, que podem variar no espaço temporal e as transições entre estados dependem apenas do estado corrente.

Se o espaço de estados é discreto, então o modelo de Markov é denominado de cadeia de Markov, e as propriedades desse modelo são estudadas em termos das propriedades das matrizes de transições de estados (STAUDT et al., 2011).

Segundo Hoyos (1980), os pontos fundamentais na construção de uma cadeia de Markov são as definições dos estados do sistema e a constituição da matriz de transição probabilística. Na Figura 2, é apresentado um exemplo de cadeia produtiva com as probabilidades de transição e seus respectivos estados, ou seja, Prod. A, Prod. B, Inspeção, Estoque, Rejeito. Nesta figura, é possível verificar diferentes processos, por exemplo, existe um processo chamado “Prod. A” esse processo produz um produto qualquer e apresenta probabilidade de transição de 95% de transferir seus produtos para o processo “Prod. B”, e probabilidade de transição de 5% de transferir rejeitos para o processo “Rejeito”. Além disso, o “Prod. A” tem probabilidade de receber 3% de produtos do processo “Prod. B”.



**Figura 2: Fluxo produtivo com probabilidades de transição**

Fonte: Os autores.

A partir do fluxo produtivo apresentado na Figura 2, é possível construir a matriz de transição estocástica, Figura 3. Segundo Branco e Coelho (2006), estas matrizes, denominadas “P”, são es-

tocásticas, porque a soma das probabilidades de cada linha é igual a 1. Na matriz de transição “P”, cada linha “i” representa o estado atual e cada coluna “j” representa o estado futuro, e a ordem dos estados atuais deve ser igual à dos futuros, nas linhas e colunas de “P”.

	Prod. A	Prod. B	Inspeção	Estoque	Rejeito
Prod. A	0,00	0,95	0,00	0,00	0,05
Prod. B	0,03	0,00	0,92	0,00	0,05
P = Inspeção	0,00	0,02	0,00	0,95	0,03
Estoque	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Rejeito	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

**Figura 3: Matriz de transição estocástica do processo produtivo da Figura 2**

Fonte: Os autores.

A matriz de transição pode ser exibida na forma de quatro submatrizes, que podem ir de um estado absorvente para outro não absorvente (Figura 4). De acordo com a definição, um estado de uma cadeia de Markov é um estado absorvente, logo, entrando nesse estado é impossível sair dele. Um caso especial de cadeias de Markov é usado para descrever processos ou sistemas que cessam, após atingir certas condições determinadas. Por exemplo: uma vez encontrado um número predefinido de peças, caixas, produtos aceitáveis ou defeituosos cessa a inspeção sequencial; após x horas de operação, a máquina quebra e é reparada ou substituída, etc. Tais processos podem ser estudados pelo modelo das cadeias de Markov (BORTOLOTTI et al., 2007).

$$P = \begin{bmatrix} N & A \\ 0 & I \end{bmatrix}$$

**Figura 4: Matriz de transição estocástica constituída por submatrizes**

Fonte: Bortolotti et al. (2007).

Estas partições em matrizes menores possuem elementos de probabilidade, mas, quando tomadas individualmente, não constituem, necessariamente, uma matriz estocástica. Se consideradas de modo individual, possuem a seguinte informação:

- Matriz  $N$  – representa as probabilidades de transição entre um estado não absorvente para outro não absorvente.
- Matriz  $A$  – representa as probabilidades de transição de um estado não absorvente passar a ser absorvente.
- Matriz  $0$  – denominada também de matriz nula, representa as probabilidades de transição de sair de um estado absorvente para um não absorvente.
- Matriz  $I$  – conhecida como matriz identidade, representa a probabilidade de transição de permanecer-se dentro de um estado absorvente.

Segundo Shamblin e Stevens Junior (1979), decorrido um número muito elevado de períodos de tempo ( $n \rightarrow \infty$ ), a probabilidade de o processo estar no estado “ $j$ ” é constante e independente do estado inicial “ $i$ ”, ou seja, os elementos da matriz  $(I - N)^{-1} \cdot A$  são as probabilidades estacionárias de absorção.

Portanto, os elementos da matriz  $(I - N)^{-1}$  informam quantas vezes uma peça passou por cada estágio até ser absorvido, o que permite calcular a capacidade necessária em cada processo produtivo para a manufatura de uma peça (STAUDT et al., 2011).

## 5 Estudo de caso

A empresa pesquisada está situada na região norte de Santa Catarina, foi fundada no início dos

anos de 1990 e atua no setor têxtil produzindo confecções para linha infantil, juvenil e adulto. Atualmente, comercializa seus produtos no mercado nacional, com distribuição anual de 7 milhões de produtos em quatro coleções distintas.

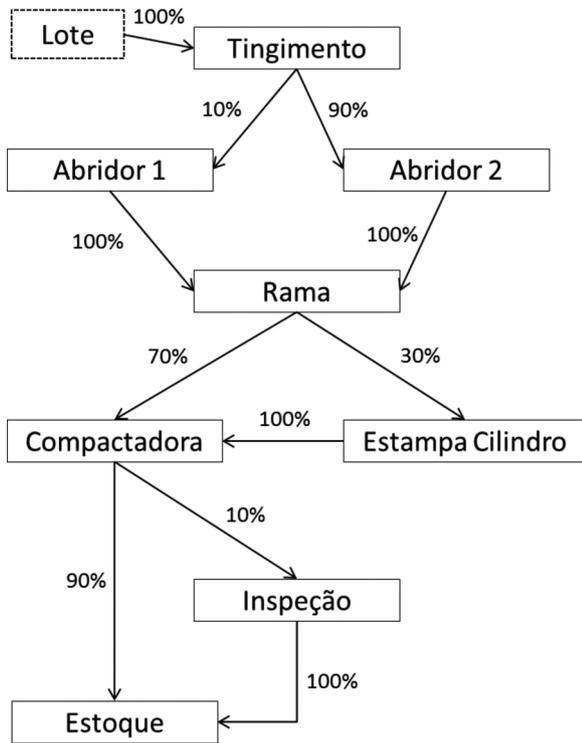
Considerando a situação instável com relação à demanda do mercado têxtil, afetada principalmente pelas variações nas estações do ano, obtiveram-se da empresa os valores de refugo e retrabalho de cada setor produtivo pelo período de três meses (maio, junho e julho de 2015) que representam o período produtivo da coleção primavera/verão. Além disso, o estudo se limitará somente em parte da área têxtil que compreende o tingimento e acabamento da malha em rolo.

Um ponto importante sobre a empresa está relacionado com os constantes investimentos na melhoria contínua de seus processos, garantindo, assim, que grandes ineficiências produtivas já foram eliminadas; portanto, dados sobre rejeito e retrabalho atualmente são considerados estáveis, mesmo que sua redução seja uma busca contínua. Diante disso, assume-se que as propriedades da cadeia de Markov são adequadas para o estudo de caso.

Inicialmente, realizou-se um levantamento das etapas do processo produtivo (Figura 5), conforme o exemplo demonstrado na Figura 2. As probabilidades de transição de cada setor produtivo foram calculadas com base em um histórico de pedidos da empresa. De modo geral, as características de cada produto (tipo de malha) determinam os processos produtivos utilizados para a sua manufatura. Apresenta-se, na Figura 5, um fluxograma dos processos existentes na área têxtil da empresa, demonstrando o percentual de produção que passa em cada processo a partir da demanda inicial programada (100%).

A demanda percebida no início do processo varia em quantidade dependendo de uma série de fatores, entre eles, os próprios pedidos de venda

para clientes; contudo, as probabilidades durante o processo não se alteram para o tipo de produto estudado. Os percentuais mostram, por exemplo, que, de todos os produtos que passam na Rama, historicamente, 70% vão para a Compactadora, devido às demandas do mercado; e os outros 30% vão para a Estampa Cilindro.



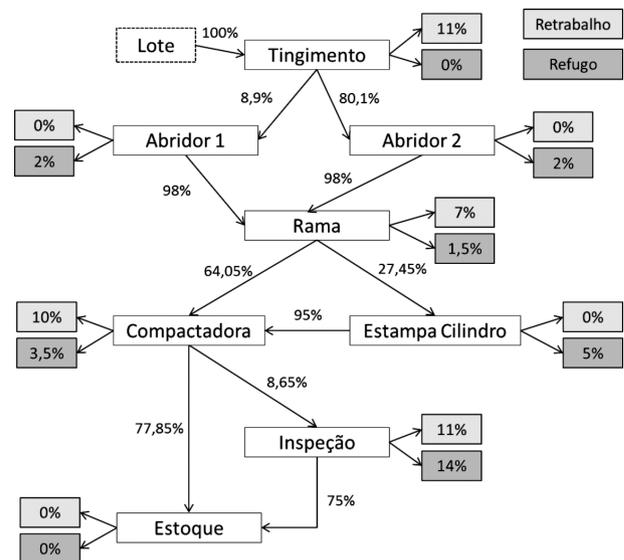
**Figura 5: Fluxograma dos processos produtivos da área têxtil e seus percentuais produtivos**

Fonte: Os autores.

No processo produtivo da empresa, existem os produtos bons, os rejeitos e os retrabalhos. Os produtos bons passam pelo setor produtivo uma única vez, enquanto os rejeitos inserem uma nova manufatura no processo desde o início do fluxo, podendo ocorrer em qualquer um dos setores produtivos. Já com o retrabalho, podem ocorrer duas situações: a carga de trabalho de outros setores pode ser influenciada, dependendo do tipo de falha cometida, ou pode provocar somente aumento da carga no próprio setor. Como

a empresa não identifica nos apontamentos de retrabalho a origem deste, não foi considerado que os produtos são retrabalhados em outros setores. Em situações de retrabalho no processo produtivo, as peças entram no lote seguinte para serem processadas normalmente. Por este motivo, no estudo, os produtos reprocessados são tratados como produtos normais, e as chances de serem classificados para rejeito e retrabalho (no segundo processamento) são iguais às de qualquer outro produto novo.

Além disso, algumas definições foram realizadas, ou seja, os rejeitos são identificados e excluídos no setor de trabalho em que o produto está sendo processado; os retrabalhos são identificados e realizados pelo próprio setor. Não são consideradas transferências de produtos para tal finalidade entre os setores de trabalho; e quando o retrabalho ocorre, ele reutiliza 100% do processo, portanto, o produto é totalmente reprocessado.



**Figura 6: Fluxograma do processo produtivo com os percentuais de rejeito e retrabalho**

Fonte: Os autores.

A Figura 6 apresenta novamente o fluxo produtivo; porém, agora, com a inclusão dos rejeitos e retrabalhos de cada parte do processo. Estes redu-



**Tabela 1: Matriz de transição estocástica com valores em percentuais**

	Lote	Ting.	Abr. 1	Abr. 2	Rama	Compac.	Est. Cilindro	Inspeção	Estoque	Refugo
Lote	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tingimento	0,0000	0,1100	0,0890	0,8010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Abridor 1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0200
Abridor 2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0200
Rama	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0700	0,6405	0,2745	0,0000	0,0000	0,0150
Compactadora	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1000	0,0000	0,0865	0,7785	0,0350
Estampa Cilindro	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0500
Inspeção	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1100	0,7500	0,1400
Estoque	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
Refugo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000

Fonte: Os autores.

**Tabela 2: Resultado da matriz  $(I - N)^{-1}$** 

	Lote	Ting.	Abr. 1	Abr. 2	Rama	Compac.	Est. Cilindro	Inspeção
Lote	1,0000	1,1240	0,1000	0,9000	1,0540	1,0550	0,2890	0,1030
Tingimento	0,0000	1,1240	0,1000	0,9000	1,0540	1,0550	0,2890	0,1030
Abridor 1	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0540	1,0550	0,2890	0,1030
Abridor 2	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0540	1,0550	0,2890	0,1030
Rama	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0750	1,0770	0,2950	0,1050
Compactadora	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,1110	0,0000	0,1080
Estampa Cilindro	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0560	1,0000	0,1030
Inspeção	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,1240

Fonte: Os autores.

**Tabela 3 Eficiência e capacidade real necessária para cada setor produtivo**

Setores de trabalho	Demanda (kg de malha (A))	Fator Capacidade (FC)	Eficiência (%)	Capacidade Real Necessária (B)	% de Incremento (B/A)	Horas Trabalhadas	Horas disponíveis descontando paradas planejadas
Tingimento	17.000	1,1240	79,17%	24.136	1,4198	19	24
Abridor 1	5.000	0,1000	87,50%	571	0,1143	21	24
Abridor 2	12.000	0,9000	87,50%	12.343	1,0286	21	24
Rama	16.000	1,0540	87,50%	19.273	1,2046	21	24
Compactadora	21.000	1,0550	87,50%	25.320	1,2057	21	24
Estampa Cilindro	5.000	0,2890	62,50%	2.312	0,4624	15	24
Inspeção	3.500	0,1030	62,50%	577	0,1648	15	24

Fonte: Os autores.

ciais, assim como o desempenho econômico da empresa. Por exemplo, no setor produtivo Rama, 130,65% de ocupação significa que a produção a ser realizada está acima da sua capacidade. Assim,

esse processo gera um atraso na quantidade de produto manufaturado, bem como influencia o desbalanceamento dos demais setores produtivos da área têxtil.

**Tabela 4: Percentual de ocupação real em cada centro de trabalho**

Setores de trabalho	Demanda (kg de malha (A))	Incremento (%)	Tempo-padrão (TPM)(h/kg de malha)	Horas Disponíveis (HD)	Nº de Recursos (NR)	% Ocupação real
Tingimento	17.000	0,8898	0,0100	24	15	42,02%
Abridor 1	5.000	0,0875	0,0013	24	1	2,28%
Abridor 2	12.000	0,7875	0,0013	24	1	49,22%
Rama	17.000	0,9223	0,0020	24	1	130,65%
Compactadora	11.900	0,9231	0,0010	24	1	45,77%
Estampa Cilindro	5.100	0,1806	0,0013	24	1	4,80%
Inspeção	1.190	0,0644	0,0056	24	1	1,77%

Fonte: Os autores.

Além disso, observa-se que vários setores produtivos estão abaixo de 80% de utilização da sua capacidade. Devido à variabilidade do processo (diversos tempos- padrão) e da demanda (sazonalidade, situação econômica, etc.). Diante do cenário apresentado, seria interessante estudar a possibilidade de um investimento em outro recurso “Rama” para reduzir o gargalo produtivo e possibilitar um melhor balanceamento dos demais recursos. Esses resultados servem de base para decisões mais assertivas sobre futuros investimentos; pois, segundo Ensley e Carr (2006), os comportamentos e preferências de empresários que decidem sobre investimentos de risco sugerem que eles podem sofrer de excesso de confiança nas suas decisões, tornando-os tendenciosos; portanto, o uso de processos matemáticos, além de reduzir esse tipo de erro nos setores produtivos, melhora a gestão industrial.

Segundo Bortolotti et al. (2007), as atividades de gerenciamento das empresas dependem de um fluxo sistemático e coerente de informações sobre as capacidades produtivas que subsidiem a tomada de decisões para atingir seus objetivos. Portanto, a técnica aplicada e os resultados obtidos reforçam essa afirmação mostrando a importância do processo de Markov, como uma técnica moderna capaz de gerar tal fluxo de informações, permitindo, assim, o acompanhamento da capacidade

produtiva real para o seu controle e minimização e para a tomada de decisões em tempo hábil.

## 7 Conclusão

Com o aumento exponencial da competitividade empresarial, devido à globalização da economia, com as inovações tecnológicas e com os processos de produção cada vez mais eficientes, existe uma necessidade de captar ferramentas que atendam aos anseios impostos por este novo cenário mundial dos negócios.

Nesta pesquisa, demonstrou-se que utilizar as cadeias de Markov para a determinação das capacidades produtivas é vantajoso, pois com esse uso admite-se uma visão mais realista em comparação com a forma tradicional de tomada de decisões, com base em dados determinísticos, como a produção, uma vez que com as cadeias de Markov podem-se determinar as probabilidades de um produto ser totalmente manufaturado com sucesso e ser enviado para o cliente, bem como as probabilidades dos produtos que vão para o refugo.

Concluiu-se, então, que a aplicação das cadeias de Markov, de uma maneira simples, pode contribuir de modo eficaz e relevante para a gestão de processos, principalmente da indústria têxtil. De maneira geral, esses resultados consistem

numa vantagem competitiva importante sobre outras empresas que possuem falhas na determinação da sua real capacidade produtiva.

Sugere-se, para futuros trabalhos, a expansão das variáveis utilizadas no estudo para uma abrangência maior dos processos da organização a ser analisada, possibilitando que pesquisas mais amplas e estratégicas possam surgir; pois, a investigação atual concentrou-se em um nível mais tático da organização.

## Referências

- BORTOLOTTI, S. L. V. et al. Estudo de custos para uma microempresa de guardanapos de papel utilizando cadeias absorventes de Markov. *Revista GEPROS*, n. 4, p. 89-102, 2007.
- BRANCO, R. M.; COELHO, A. S. Cadeias absorventes de Markov no processo produtivo de filé congelado de pescada. *Revista Synergismus scyentifica*, v. 1, p. 646-657, 2006.
- CRESWELL, J. W. *Research design: qualitative & quantitative approaches*. London: Sage, 1994. 248 p.
- ENSLEY, M. D.; CARR, J. C. Institutional isomorphism in venture capital investment decision making: industry characteristics and investment preferences. *Social Science Research Network*, 2006.
- HOYOS, A. Processos estocásticos e previsão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 4., 1980, [Rio de Janeiro]. *Anais...* [Rio de Janeiro]: [s.n.], 1980.
- KATO, A. K.; TAKAKI, E. Y.; SOUZA, G. C. Modelagem da capacidade produtiva através da aplicação da engenharia de métodos em uma empresa de beneficiamento de mármore e granitos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 23., 2003, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto, MG: Enegep, 2013.
- LEAL, F. et al. Uma ferramenta de ensino para análise de tempos nas relações de trabalho. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – SIMPEP, 12., 2005, Bauru. *Anais...* Bauru: Simpep, 2005.
- PEINADO, J.; GRAEML, A. R. *Administração da produção: operações industriais e de serviços*. Curitiba: UnicenP, 2007.
- SALIM, R. Measuring productive capacity realization of Bangladesh food manufacturing: a random coefficient frontier approach. *Social Science Research Network*, 2001.
- SHAMBLIN, J. E.; STEVENS JUNIOR, G. T. *Pesquisa operacional – uma abordagem básica*. São Paulo: Atlas, 1979.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- STAUDT, F. H., COELHO, A. S.; GONÇALVES, M. Determinação da capacidade real necessária de um processo produtivo utilizando cadeia de Markov. *Revista Produção*, v. 21, n. 4, p. 634-644, 2011.
- TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção*. Itajubá: Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá, 2009.
- WATTS, T. et al. Structural limits of capacity and implications for visibility. *Journal of Accounting & Organizational Change*, v. 5, n. 2, p. 294-312, 2009.

Recebido em 9 dez. 2015 / aprovado em 1º mar. 2016

### Para referenciar este texto

MILNITZ, D.; LUNA, M. M. M.; COELHO, A. S. Cálculo e análise da capacidade produtiva utilizando o processo de Markov: estudo de caso de uma empresa têxtil. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 127-137, 2016.

