

## MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA DINÂMICA OPERACIONAL DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PLACAS DE SINALIZAÇÃO

### MODELING, SIMULATION AND OPTIMIZATION OF THE OPERATIONAL DYNAMICS OF AN SIGNBOARDS MANUFACTURING PROCESS

José Airton A. dos Santos<sup>1</sup>; Ciro Italiano Monteiro<sup>2</sup>; Helder Massanori Shioya<sup>3</sup>; Renan Cintra de Souza<sup>4</sup>; Sillas Reinato Ferrão<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Medianeira/PR - Brasil  
[airton@utfpr.edu.br](mailto:airton@utfpr.edu.br)

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Medianeira/PR - Brasil  
[ciroim93@gmail.com](mailto:ciroim93@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Medianeira/PR - Brasil  
[helder.massanori@hotmail.com](mailto:helder.massanori@hotmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Medianeira/PR - Brasil  
[renanzinhul\\_cintra@hotmail.com](mailto:renanzinhul_cintra@hotmail.com)

<sup>5</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Medianeira/PR - Brasil  
[sillasferrao@yahoo.com.br](mailto:sillasferrao@yahoo.com.br)

#### Resumo

*A tomada de decisão na gestão do processo de produção em pequenas empresas baseia-se geralmente na experiência do funcionário responsável pela produção. Decisões baseadas somente em experiência geralmente resultam em gargalos, deficiências no dimensionamento, alocação ineficaz de funcionários e problemas operacionais. Atendendo a necessidade de melhorar o processo de tomada de decisão nas pequenas empresas, o trabalho aqui desenvolvido teve como objetivo analisar por meio de técnicas de simulação e otimização, a dinâmica operacional do processo de fabricação de placas de sinalização em uma pequena empresa da região oeste do Paraná. A simulação e a otimização foram executadas utilizando o pacote de simulação Arena®, que inclui o software de otimização Optquest. Com o modelo implementado foi possível testar, através de técnicas de simulação e otimização, diferentes combinações para as variáveis em estudo, obtendo-se uma nova disposição dos funcionários na linha de produção com acréscimo de produção.*

**Palavras-chave:** otimização; placas de sinalização; simulação.

## Abstract

*Decision making in the management of the production process in small companies is generally based on the experience of the employee responsible for the production. Decisions based only on experience generally result in bottlenecks, deficiencies in the design, inefficient allocation of employees and operational problems. Given the need to improve the process of decision making in small companies, our work aims to analyze through simulation and optimization techniques, the operational dynamics of the signboards manufacturing process in a small company in western region of the Paraná. The simulation and optimization were performed using the Arena simulation package, which includes the simulation software OptQuest. With the implemented model was possible to test by means of simulation and optimization techniques, different combinations of the variables under study, resulting in a new arrangement of the employees on the production line with production increase.*

**Key-words:** optimization; articles; simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

Independente da lógica que utilizem, os sistemas de administração da produção, para atingirem seus objetivos e cumprirem seu papel de suporte, dos objetivos estratégicos da organização, devem ser capazes de apoiar e dar ferramentas aos tomadores de decisões (CORRÊA et al., 1997).

As empresas de micro e pequeno porte, geralmente não possuem ferramentas que auxiliem na gestão da tomada de decisão no âmbito produtivo, sendo as decisões muitas vezes tomadas pelo conhecimento heurístico dos seus proprietários. Uma decisão errada por parte destes pode acarretar em perdas financeiras, comprometer a imagem da empresa perante seus clientes/fornecedores, gerar desperdício e retrabalho.

Uma alternativa para ajudar na tomada de decisão são as ferramentas de simulação. Segundo Banks (1998, p.15), a simulação de um modelo permite entender a dinâmica de um sistema assim como analisar e prever o efeito de mudanças que se introduzam no mesmo. É uma representação próxima da realidade, e será tanto mais real quanto mais características significativas do sistema ele seja capaz de representar. Por outro lado, o modelo deve ser simples, de forma que não se torne demasiado complexo para se construir, mas ao mesmo tempo o modelo deve ser o mais fiel possível ao sistema real (KELTON; SADOWSKI, 1998).

Inicialmente, os sistemas de simulação foram desenvolvidos sobre linguagens de programação de propósito geral, tais como: Fortran, Basic, Pascal, etc. Porém, isso exigia um grande esforço para construção de modelos, além de profissionais com conhecimentos profundos de programação de computadores. Diante dessa dificuldade é que começaram a surgir linguagens de programação dedicadas à simulação que superassem essa barreira. É o caso, por exemplo, das linguagens Gpss, Siman, Slam, Simscript, etc. Tais linguagens eram, na verdade, bibliotecas formadas por conjuntos de macro comandos das linguagens de propósito gerais. Alguns dos

simuladores da geração seguinte foram desenvolvidos sobre a plataforma dessas linguagens. Como exemplo tem-se o software Arena®, implementado na linguagem Siman (LAW; KELTON, 2000; FREITAS FILHO, 2008).

Para Fu (2002, p. 3), na interação entre simulação e otimização, a última deve ser vista como uma ferramenta complementar à simulação. Neste processo, a otimização fornece as variáveis de uma possível solução (*inputs*) à simulação; esta, após todo o processo de simulação, fornece respostas (*outputs*) para a situação proposta, que retornam à otimização. A otimização gera novas variáveis, utilizando técnicas de otimização específicas, que serão novamente testadas pela simulação. Este ciclo é repetido até sua parada, definida de acordo com o método de otimização utilizado.

Existem atualmente vários softwares que permitem a realização da otimização a partir de uma simulação, dentre eles pode-se citar: AutoStat, OptQuest, OPTIMIZ, SimRunner® e WITNESS Optimizier. Os mesmos fazem parte de pacotes comerciais onde também está incluso o módulo de simulação (HARREL et al., 2000).

A combinação entre simulação e otimização faz com que as respostas sejam mais eficientes, possibilitando uma melhor tomada de decisão.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar através das técnicas de simulação e otimização a dinâmica operacional do processo de fabricação de placas de sinalização em uma pequena empresa da região oeste do Paraná. Utilizou-se como ferramenta computacional o software Arena®, da Rockwell Software Corporation, por ser um dos softwares de simulação discreta mais utilizado no mundo empresarial e acadêmico.

Após esta introdução, o artigo é estruturado a partir de uma seção de metodologia (Seção 2). Na Seção 3 é desenvolvido um estudo de caso de Simulação com Otimização para analisar o processo de fabricação de placas de sinalização por meio da combinação do software de simulação Arena® com o software de otimização OptQuest. Por fim, a seção 4 encerra o presente trabalho com as considerações finais da pesquisa.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa é caracterizada como um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico, cujo objetivo fundamental é descobrir resposta para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos (Gil, 1999). Está pesquisa utilizou dois métodos de pesquisa: o estudo de caso, para conhecer o fenômeno no contexto real de forma ampla e detalhada (Yin, 2001), e a modelagem/simulação, que aborda quantitativamente o problema e busca controlar as variáveis gerenciais em estudo.

O Processo de fabricação:

O processo de fabricação de placas de sinalização inicia com a chegada de paletes com chapas de aço de 3000 x 1000mm na linha de produção. Na sequência as chapas são cortadas, em peças com o formato das placas, por uma máquina de corte automática. Em seguida as peças passam por um processo de rebarba e desbaste. São posteriormente levadas em lotes de 200 peças para o processo de lavagem. Depois de lavadas, as peças são colocadas em suportes para secagem. Após o processo de secagem são encaminhadas para um processo de pintura eletrostática. Na sequência são levadas em lotes de 50 peças, através de um carrinho, para o forno. Depois de “queimadas” as placas são levadas para o processo de adesivagem (Figura 1) e finalmente são embaladas e enviadas ao estoque.

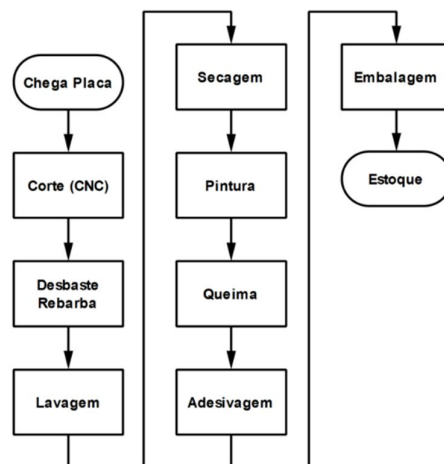
Figura 1 – Placas de sinalização - Adesivagem



Fonte: Autoria própria

Na Figura 2 apresenta-se o fluxograma do sistema em estudo.

Figura 2 – Fluxograma do sistema



Fonte: Autoria própria

Atualmente, a linha de produção das placas de sinalização conta com oito funcionários (5 funcionários do sexo masculino e 3 do feminino) - Quadro 1):

Quadro 1 – Número de funcionários por posto de trabalho

Posto	Processo	Número de Funcionários
Pst 1	Corte das placas	1 (Masculino)
Pst 2	Desbaste e rebarba	1 (Masculino)
Pst 3	Lavagem	1 (Masculino)
Pst 4	Pintura	2 (Masculino)
Pst 5	Adesivagem de friso	1 (Feminino)
Pst 6	Adesivagem de fundo	1 (Feminino)
Pst 7	Adesivagem de letras e Embalagem	1 (Feminino)

Fonte: Autoria própria

O gerente da empresa contrata somente mulheres para atuar nos postos de Adesivagem. Por considera-las mais cuidadosas e detalhistas, que os homens, para atuar neste tipo atividade.

O software Arena®:

O Arena® é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém inúmeros recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados. A plataforma de simulação Arena® possui as seguintes ferramentas (KELTON; SADOWSKI, 1998):

- i. Analisador de dados de entrada (*Input Analyzer*);
- ii. Analisador de resultados (*Output Analyzer*);
- iii. Analisador de processos (*Process Analyzer*).

O Arena® traz também integrada a ferramenta de otimização *OptQuest for Arena*, que é instalada como uma das ferramentas disponíveis (um *Add-in*), da mesma forma que acontece com o *Input Analyzer*, *Output Analyser* e *Process Analyser*.

O software Arena® é composto por um conjunto de blocos (ou módulos) utilizados para se descrever uma aplicação real e que funcionam como comandos de uma linguagem de programação. Os elementos básicos da modelagem em Arena® são as entidades que representam as pessoas, objetos, transações, etc, que se movem ao longo do sistema; as estações de trabalho que demonstram onde será realizado algum serviço ou transformação, e por fim, o fluxo que representa os caminhos que a entidade irá percorrer ao longo das estações (FERNANDES et al., 2006).

No planejamento, da coleta de dados, concluiu-se que seria necessário determinar as seguintes variáveis: Tempo de corte das placas (15 min); Tempos de desbaste e rebarba (TDR); Tempos de lavagem (TL); Tempo de secagem (5 min); Tempos de pintura (TP); Tempo de queima

(15 min); Tempos de adesivagem de friso (TAFR); Tempos de adesivagem de fundo (TAFU); Tempos de adesivagem de letras (TAL) e Tempos de embalagem (TE). Alguns desses dados foram analisados com a ferramenta *Input analyzer* (analisador de dados de entrada) do software Arena®. Segundo Prado (2010, p. 24) esta ferramenta permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles.

Na seguinte seção serão detalhados os dados coletados e o tratamento dado a eles visando garantir a sua consistência para utilização no modelo.

Número de replicações:

Neste trabalho, o número de replicações ( $n^*$ ) foi obtido através da Equação (1) (CHIFF; MEDINA, 2007):

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*}\right)^2 \quad (1)$$

onde:

- n: número de replicações já realizadas;
- h: semi-intervalo de confiança já obtido;
- $h^*$ : semi-intervalo de confiança desejado.

Validação do modelo:

Na execução do procedimento de validação, para o sistema em estudo, utilizou-se o erro médio estimado (Equação 2) (MONTGOMERY, 2005):

$$SE = \sqrt{\frac{(SR-MD)^2}{GLR}} \quad (2)$$

onde:

- SE – erro médio estimado;
- SR – valor obtido a partir do sistema real;
- MD – média dos valores gerados pelo modelo;
- GLR – grau de liberdade considerando o número de replicações do modelo.

Tamanho da amostra:

O tamanho de cada uma das sete amostras, cronometradas neste trabalho, foi obtida para um nível de confiança de 95%, através da Equação (3) (MORROCO, 2003):

$$n_A = \left( \frac{Z_{\alpha/2} \times S}{E} \right)^2 \quad (3)$$

onde:

$n_A$ : número de indivíduos da amostra;

$Z_{\alpha/2}$ : valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

S: desvio padrão;

E: erro máximo estimado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tratamento dos dados:

Foi realizada uma avaliação descritiva completa dos dados coletados no software Statistica® versão 10. A Tabela 1 apresenta os dados coletados no processo de fabricação das placas de sinalização.

Tabela 1 – Análise de dados

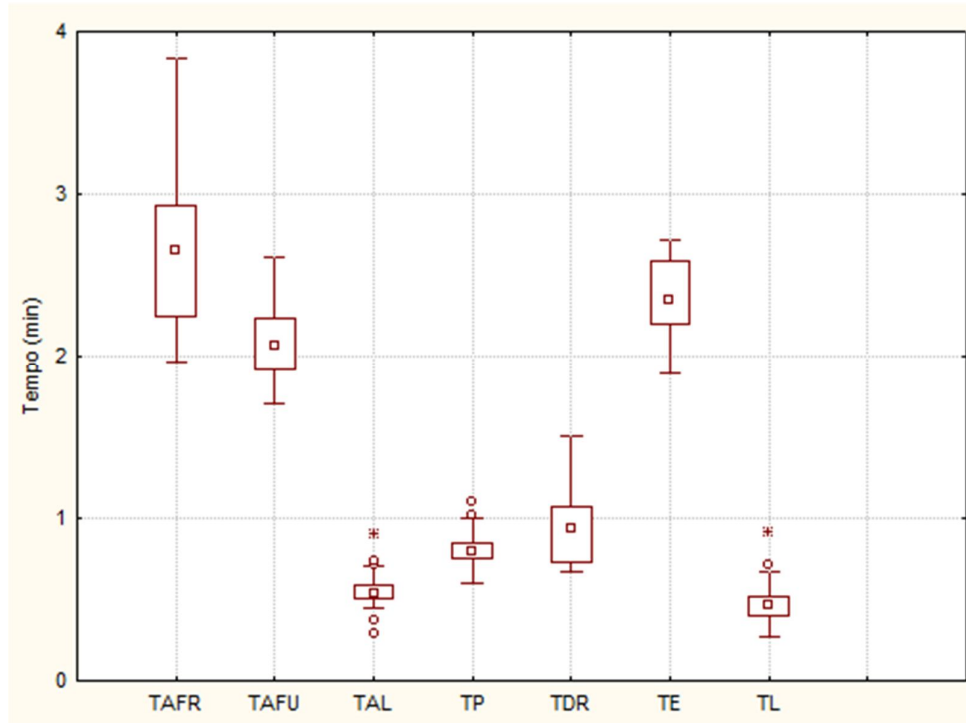
Parâmetro analisado	TAFR	TAFU	TAL	TP	TDR	TE	TL
Pontos	35	35	35	35	35	35	35
Média (min)	2,55	2,09	0,54	0,82	0,97	2,4	0,49
Mediana (min)	2,52	2,07	0,52	0,80	0,96	2,35	0,48
Mínimo (min)	1,68	1,7	0,28	0,60	0,67	1,58	0,27
Máximo (min)	3,83	2,62	0,9	1,1	1,5	4,90	0,92
1 Quartil ( $Q^1$ ) (min)	2,08	1,92	0,48	0,75	0,73	2,2	0,42
3 Quartil ( $Q^3$ ) (min)	2,87	2,27	0,58	0,88	1,13	2,57	0,53
Desvio Padrão (min)	9,23	0,23	0,12	0,10	0,24	0,51	24,4
Coef. de Variação (%)	19,9	11	21,5	12,6	24,3	21,1	3,6

Fonte: Autoria própria

Após realizar a análise exploratória, os dados foram plotados em forma de *boxplots* (Figura 3), para uma análise preliminar do comportamento das observações. A seguir, aplicou-se uma técnica de identificação de *outliers* (valores fora da normalidade). As razões mais comuns para o surgimento desses valores são os erros na coleta de dados ou eventos raros e inesperados. Portanto, para identificação desses valores aplicou-se a técnica apresentada no Quadro 2 (CHIFF; MEDINA,

2007). Os *outliers* considerados como extremos só foram descartados, das amostras, depois de uma análise criteriosa de suas causas. Os valores julgados como possíveis de ocorrer foram mantidos nas amostras.

Figura 3 – *Boxplots*



Fonte: Autoria própria

Quadro 2 – Identificação de *Outliers*

<i>Outliers</i>
$A=Q^3-Q^1$
Valor $< Q^1-1,5A$ - <i>Outlier Moderado</i>
Valor $> Q^3+1,5A$ - <i>Outlier Moderado</i>
Valor $< Q^1-3,0A$ - <i>Outlier Extremo</i>
Valor $> Q^3+3,0A$ - <i>Outlier Extremo</i>

Fonte: Chwif; Medina, 2007

Onde  $Q^1$  e  $Q^3$  são, respectivamente, os valores do primeiro e terceiro quartis, assim a amplitude entre inter-quartil “A” é calculada pela diferença:  $A=Q^3-Q^1$ .

Após a análise dos dados cronometrados no sistema, através de técnicas estatísticas (MARIN; TOMI, 2010), o passo seguinte foi determinar as curvas de distribuição teórica de



probabilidades que melhor representem o comportamento estocástico do sistema em estudo, através da ferramenta *Input Analyzer* do Arena®. Como os *p-values* encontrados nos testes de aderência: teste Chi Square e do teste Kolmogorov-Smirnof são maiores que o nível de significância adotado (0,1) (CHIWF; MEDINA, 2007), concluiu-se que as distribuições, apresentadas na Tabela 2, são as expressões que melhor se adaptaram aos dados coletados no sistema.

Tabela 2 – Distribuições de Probabilidade

<b>Itens</b>	<b>Distribuição (min)</b>
TAFR	1+LOGN( 0.387,0.325)
TAFU	1+ERLA( 0.0478,23 )
TAL	0.22+LOGN( 0.331,0.144)
TP	NORM(0.818,0.102)
TDR	0.29+0.51*BETA( 1.31,2.08)
TE	1+1.72*BETA( 5.16,1.57)
TL	0.2+LOGN( 0.298,0.127)

Fonte: Autoria própria

Validação do modelo implementado:

Inicialmente, a validação do modelo computacional foi realizada por meio da técnica face a face, onde o modelo foi executado para os funcionários da empresa que o consideraram correto (SARGENT, 1998). Na sequência realizou-se uma comparação (Tabela 3) entre a média obtida do sistema real com a média gerada pelo modelo para a variável NPPD: Número de Placas Produzidas em um Dia (8 horas). Nesta tabela apresenta-se o erro médio estimado (SE, em decimal).

Tabela 3– Distribuições de Probabilidade

<b>Número de Placas – NPPD</b>		
<b>Sistema Real</b>	<b>Modelo Computacional</b>	<b>SE</b>
140,3	142,67	0,61

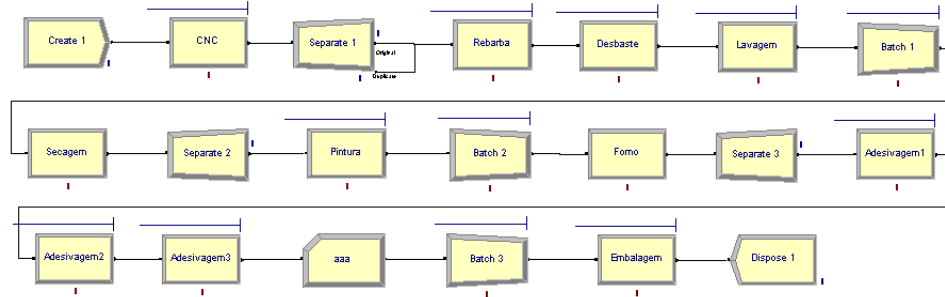
Fonte: Autoria própria

Através da análise dos resultados da Tabela 3 pode-se concluir que o modelo computacional apresenta uma boa aproximação, em relação ao tempo do processo de produção, com o sistema real. **Simulação e Otimização:**

Uma vez validado o modelo computacional (Figura 4) pode-se passar, segundo o método de pesquisa, para a etapa de análise. Nessa etapa o modelo computacional, agora denominado

operacional, passa a trabalhar para o modelador com o intuito de responder aos objetivos do projeto de simulação.

Figura 4 – Modelo computacional



Fonte: Autoria própria

No presente estudo o problema foi definido com base em algumas premissas necessárias ao bom funcionamento do processo bem como necessidades da empresa, da forma ilustrada no Quadro 3.

Quadro 3 – Definição e forma de otimização do problema utilizadas no estudo

Elementos	Descrição
Função Objetivo	Maximizar a produção de placas de sinalização
Restrição	Número máximo de funcionários $\leq 8$
Variável de Controle	Número de funcionários por posto de trabalho: Mínimo=1 e Máximo=2

Fonte: Autoria própria

O Optquest realizou 8 simulações, com 15 replicações cada, para encontrar a melhor solução segundo as opções e os parâmetros definidos. A distribuição dos funcionários nos postos de trabalho para o melhor valor obtido para função objetivo é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados de otimização

Simulação	Função Objetivo	Pst 1	Pst 2	Pst 3	Pst 4	Pst 5	Pst 6	Pst 7
3	211	1	1	1	1	1	2	1
5	142,67	1	1	1	2	1	1	1
7	142,33	1	2	1	1	1	1	1
4	141,33	1	1	1	1	2	1	1
2	140,33	1	1	1	1	1	1	2
6	140,33	1	1	2	1	1	1	1
1	139,67	1	1	1	1	2	1	1
8	137,33	2	1	1	1	1	1	1

Fonte: Autoria própria

Observa-se dos resultados obtidos da Tabela 4 que o melhor resultado para a função objetivo aconteceu na terceira simulação (211 placas de sinalização) com dois funcionários atuando no posto 6 (Processo de adesivagem de fundo).

Baumgartner et al. (2013, p. 10), estudando as deficiências da linha de produção, do processo de embalagem e paletização de sachês de refresco em pó, também foi capaz de identificar deficiências e aumentar os ganhos financeiros e a produtividade por meio de simulação.

#### **4. CONCLUSÕES**

Neste trabalho apresentou-se a metodologia utilizada na implementação do modelo computacional usado para simular a dinâmica operacional do processo de fabricação de placas de sinalização em uma pequena empresa da região oeste paranaense.

De acordo com os resultados das análises procedidas para a validação do modelo computacional, foi possível concluir que o mesmo pode ser aplicado para simular a dinâmica operacional do processo de fabricação de placas de sinalização, principalmente na previsão da variável NPPD (Número de Placas Produzidas em um Dia).

Concluiu-se, também, que por meio da dispensa de um dos funcionários que atua no setor de pintura e a contratação de uma funcionária para o setor de adesivagem de fundo, obtém-se um acréscimo na produção de 69 placas por dia.

A aplicação da simulação computacional gerou um conhecimento adicional à cerca do processo para todos os envolvidos e possibilitou, também, a identificação de oportunidades de melhorar o processo de fabricação de placas de sinalização.

Deve-se destacar ainda que o potencial de uso da simulação é inexplorado em diversos contextos brasileiros, principalmente, em pequenas empresas e que estudos deste tipo contribuem para incentivar a adoção de softwares de simulação no apoio a decisões estratégicas nestas empresas.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BANKS, J. **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

BAUMGARTNER, D; CAVALLI D.; SANTOS J. A. A.; SCHMIDT C. A. P. **Modelagem, simulação e otimização da dinâmica operacional do processo de embalagem e paletização de sachês de refresco em pó: um estudo de caso**. *Revista Espacios*, v34, 10, 2013.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações**. São Paulo: Brazilian Books, 2007.

CORRÊA, Henrique L., GIANESI, I. G. N., CAON, M. **Programação e Controle da Produção: MRP II / ERP: conceitos, uso e implantação**. São Paulo: Atlas, 1997.

FERNANDES, C. A.; SILVA, C. S.; PEREIRA, J. O. YAMAGUCHI, M. M. **Simulação da Dinâmica Operacional de uma Linha Industrial de Abate de Suínos. Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, 166-170, 2006.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. Florianópolis: Visual Books, 2008.

FU, M. C. **Optimization for Simulation: Theory vs. Practice**. Journal on Computing, 14(3),192-215, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 1999.

HARREL, Charles R.; G.; BIMANN K.; BOWDEN, R. **Simulation Using ProModel®**. New York: McGraw-Hill, 2000.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. New York: McGraw- Hill, 2000.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P; SADOWSKI, D. A. **Simulation with arena**. New York: McGraw-Hill, 1998.

MARIN, T.; TOMI, G. F. C. Modelagem de dados de entrada para simulação estocástica del lavra. **Revista Escola de Minas**, v. 60, p. 559-62. 2010.

MORROCO, J. **Análise estatística de dados – com utilização do SPSS**. Lisboa. Sílabo, 2003

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. New York: Wiley, 2005.

PRADO, D. **Usando o ARENA em simulação**. v.3, 4ed. Nova Lima: INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, 2010.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. In. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 1998.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

Recebido: 23/11/2013

Aprovado: 10/03/2014