

MODELAGEM E ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE MOSAICOS

José Airton Azevedo dos Santos - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – E-mail: airton@utfpr.edu.br
Angela Regina Bem - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – E-mail: angelaregina.bem@gmail.com

Resumo: Este trabalho teve como objetivo analisar, por meio de técnicas de simulação computacional, o processo produtivo de uma indústria de mosaicos. Um modelo do tipo dinâmico, discreto e estocástico foi implementado no software de simulação Arena®. Como parâmetro de comparação entre os dados obtidos a partir do sistema e gerados pelo modelo foi selecionada a variável NMP (Número de Mosaicos Produzidos). A metodologia utilizada é a de modelagem através de simulação computacional, de caráter quantitativo e é caracterizada como participativa. Os resultados de simulação demonstraram que a utilização de mais um funcionário para atender os setores de montagem e colagem reduz o tempo de processo de aproximadamente três horas.

Palavras-chave: Arena®; modelo de simulação; mosaicos.

MODELING AND ANALYSIS OF PRODUCTION PROCESS OF AN INDUSTRY OF MOSAICS

Abstract: This work aims to analyze, through computer simulation techniques, the production process of an industry mosaics. The stochastic, discrete and dynamics model was implemented in the Arena® simulation software. As a comparison parameter among the data obtained from the system and generated by the model, the NMP variable (Number of Mosaics produced) was chosen. The methodology used was the modeling through computer simulation of quantitative character and it is characterized as participative. The simulation results showed that the use of another worker to serve the sectors of assembling and gluing reduces the process time of approximately three hours.

Keywords: Arena ®; simulation model; mosaics.

1. INTRODUÇÃO

A técnica de fabricação de mosaicos consiste na colocação de peças, pequenos fragmentos de pedra, sobre uma superfície, formando um desenho. O objetivo do mosaico é preencher algum tipo de plano, como pisos e paredes. A palavra “mosaico” deriva da palavra grega *mousséîn*, a mesma que deu origem à palavra música, que significa próprio das musas (DACÓL, 2008).

A arte do mosaico é praticada há mais de 4.000 anos. No século VIII a.C. há registros de pavimentos feitos de seixos de pedras coloridas na Roma antiga para criar desenhos específicos, muito embora esses desenhos apresentassem pouca estrutura. Foram os gregos, no século IV a.C., que fizeram do mosaico de seixos uma forma de arte, com desenhos geometricamente precisos e painéis com cenas de pessoas e animais. No ano 200 a.C., pequenas peças começaram a ser produzidas especialmente para dar mais variação de cores aos desenhos, imitando as pinturas (VIDAL, 1995).

Atualmente, o mosaico tem despertado grande interesse, sendo cada vez mais utilizado na decoração de ambientes interiores e exteriores.

As empresas estão a cada dia sendo mais pressionadas pela concorrência globalizada, reduções do tamanho do lote de produção, exigência do mercado por novos produtos tecnologicamente mais avançados, aumento de insumos utilizados no seu processo de fabricação, etc. Com esta pressão as empresas estão se mobilizando e procurando racionalizar toda sua cadeia produtiva: melhorando processos, investindo em novos equipamentos, implantando novos sistemas de gestão, reorganizando *layouts*, reduzindo estoques (LAW;

KELTON, 2000). Este movimento requer ferramentas de planejamentos mais avançadas e sofisticadas, em seu poder de suprir os gestores de informações confiáveis para a tomada de decisões. A simulação computacional vem mostrando-se como uma ferramenta com grande potencial de apoio as decisões estratégicas (PRADO, 2010).

A simulação tem sido cada vez mais aceita e empregada como uma técnica que permite aos analistas dos mais diversos seguimentos verificarem ou encaminharem soluções com a profundidade desejada, aos problemas com os quais lidam diariamente. A simulação computacional permite que estudos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, levando ao desenvolvimento de projetos eficientes antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada (FREITAS FILHO, 2008).

Modelos de simulação podem ser considerados como uma descrição do sistema real. A execução de modelos de simulação em computador tem potencial para fornecer resultados mais precisos, sem que seja necessário interferir no sistema real. Tais resultados, quando analisados estatisticamente, produzem informações que podem contribuir consideravelmente nas tomadas de decisões, que visam a solução de problemas (BANKS, 1998).

A crescente popularidade do uso de simulação como ferramenta de modelagem e análise de problemas resultou em uma vasta e crescente disponibilidade de softwares de simulação no mercado. Há duas grandes categorias de software de simulação disponíveis: os de natureza geral e os voltados para aplicações específicas, tais como manufatura, serviços, telecomunicações, engenharia e outros. Dentre os softwares de simulação geral optou-se por utilizar, neste trabalho, o software Arena® da Rockwell Software Corporation por ser um dos softwares de simulação discreta mais utilizado no mundo empresarial e acadêmico (CHWIF; MEDINA, 2007).

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo implementar um modelo computacional para analisar a dinâmica operacional do processo de fabricação mosaicos.

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, 2002).

A classificação, quanto ao tipo de pesquisa, pode ser subdividida de acordo com a natureza, sendo esta aplicada, quanto aos objetivos sendo descritiva, quanto à forma de abordar o problema, pode ser considerada quantitativa, pois os dados obtidos (cronometrados) no sistema real foram, em seguida, tratados estatisticamente.

Como estratégia de pesquisa, foi utilizado o estudo de caso que, conforme Yin (2001), é ideal em situações organizacionais reais em que o pesquisador não tem controle dos fenômenos.

A indústria de mosaicos, objeto deste estudo, é uma empresa de pequeno porte, localizada no município de Medianeira, Paraná. Na indústria são fabricados mosaicos de diferentes tamanhos e materiais, dentre eles tem-se o mármore, granito, quartzito, basalto e arenito. As peças utilizadas na fabricação dos mosaicos vêm dos resíduos de uma Marmoraria. Portanto, vêm com recortes diferentes, o que não dificulta o processo em si, pois na indústria as peças são cortadas em diversas dimensões, a fim de formar o produto final.

Na Figura 1 apresenta-se o fluxograma do processo de fabricação dos mosaicos.

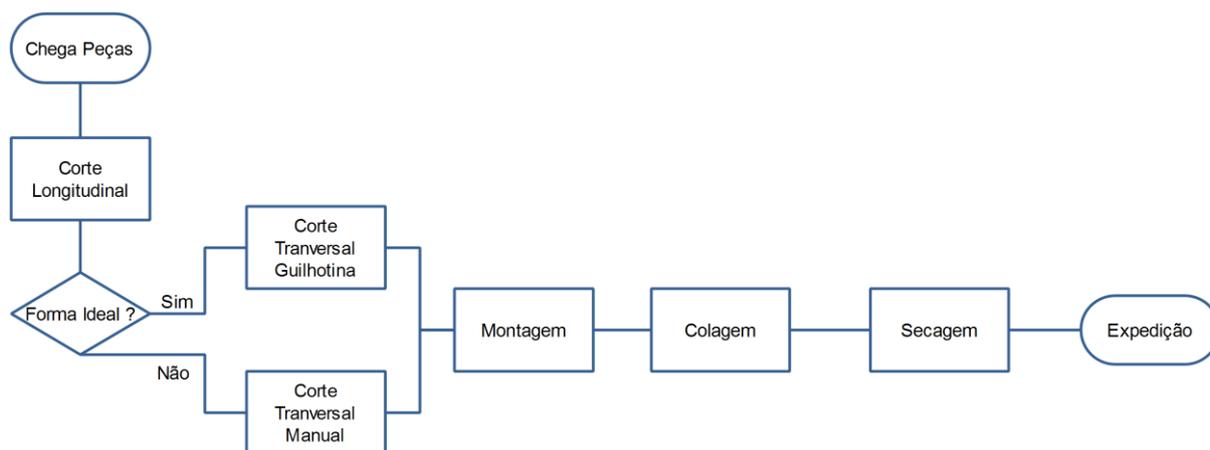


Figura 1 – Fluxograma do sistema.
 Fonte – O Autor, 2013.

O processo de fabricação dos mosaicos inicia com a coleta das pedras no depósito interno da empresa (Figura 2). Na sequência, as pedras são cortadas em uma máquina de corte no sentido longitudinal. Nesta máquina as dimensões dos filetes são ajustadas manualmente, através da distância entre as serras. A seguir é realizado o corte transversal das pedras. O corte transversal pode ser realizado de duas formas diferentes, quando a pedra está no formato aceito pela guilhotina, ela é cortada na mesma, porém, quando existem imperfeições nas dimensões que impossibilitam este processo, a pedra então é cortada de forma manual (Figura 3). Depois de receberem as dimensões pretendidas, as pedras são encaminhadas para os processos de montagem e colagem. Na montagem dos mosaicos os diversos pedaços de rocha são juntados por meio de uma rede. No processo de colagem as peças são coladas na rede para a formação dos mosaicos. Em seguida os mosaicos são enviados para o processo de secagem. Quando os mosaicos estão completamente secos, seguem para o estoque de produtos acabados.



Figura 2 – Depósito de pedras.
 Fonte – O Autor, 2013.



Figura 3 – Corte manual.
 Fonte – O Autor, 2013.

Na Figura 4 apresenta-se o *layout* da empresa em estudo e o fluxo do processo.

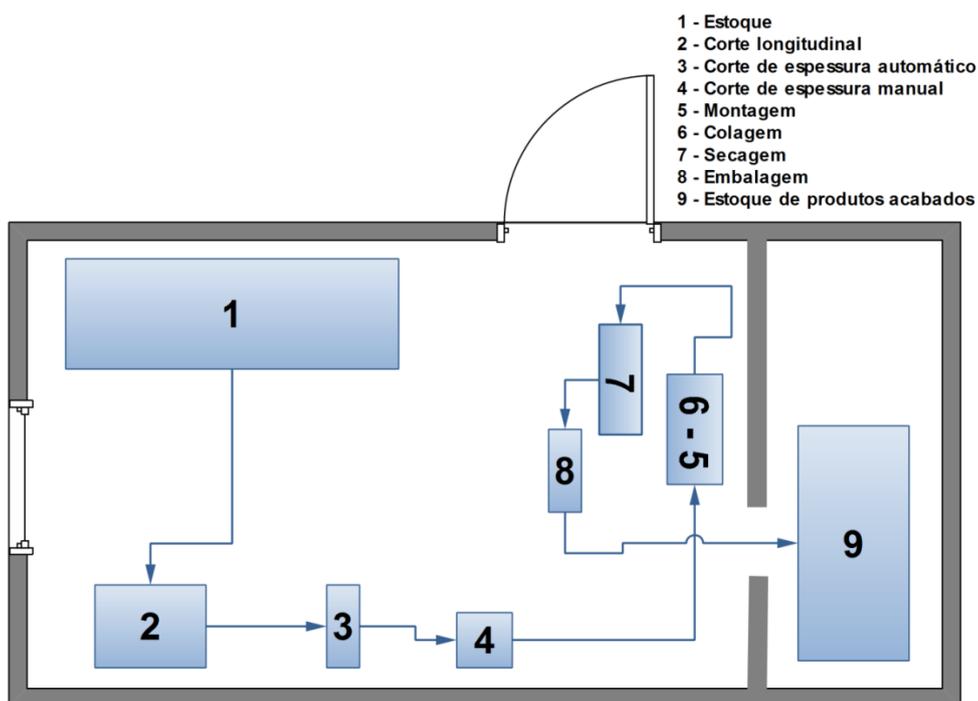


Figura 2 – *Layout* do sistema.
 Fonte – O Autor, 2013.

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*).

Este software 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 de estações (FERNANDES *et al.*, 2006).

Um dos recursos mais valiosos do Arena é a animação. Através dessa ferramenta, é possível representar dinamicamente o sistema em estudo, analisando o comportamento das variáveis e suas movimentações. A animação também auxilia no entendimento do modelo elaborado, por pessoas que não tenham afinidade com a área de simulação, pois consiste em desenhos e símbolos de fácil compreensão.

As etapas de construção do modelo conceitual e da coleta dos dados foram feitas em parceria com o gerente de produção da empresa e com os funcionários diretamente ligados ao processo de fabricação dos mosaicos. Durante estas etapas, concluiu-se que seria necessário determinar as seguintes variáveis: TRM: Tempo de regulagem das máquinas (10 minutos); TCL: Tempo de corte longitudinal; TCTG: Tempo de corte transversal com guilhotina; TCTM: Tempos de corte transversal manual; TPPCM: Tempo de preparação dos processo de montagem e colagem (20 minutos); TC: Tempos de colagem e TS: Tempos de secagem.

A simulação da dinâmica operacional do processo de fabricação dos mosaicos foi realizada com o software Arena®, e os resultados analisados nas ferramentas *Output Analyzer* e *Process Analyzer*.

Número de Replicações:

Segundo FREITAS FILHO (2008), de uma maneira geral, a coleta de dados para a composição de uma amostra a partir da simulação de um modelo pode ser realizada de duas formas:

1. Fazer uso das observações individuais dentro de cada replicação. Por exemplo, pode-se simular o processo e utilizar o tempo que cada peça esperou na fila da seção de colagem para realizar uma estimativa do tempo médio de espera na fila. Neste caso, o tamanho da amostra será igual à quantidade de peças que passaram pela fila ao longo do período simulado.
2. A segunda maneira de gerar a amostra é realizar n simulações (replicações). Assim, cada replicação gera um elemento para a amostra. Uma vez que estamos lidando com um sistema terminal no qual as condições iniciais e o período de simulação são fixos, a melhor maneira de garantir que os valores da amostra sejam estatisticamente independentes é obtê-los a partir de replicações independentes.

Neste trabalho, o número de replicações (n^*) foi obtido através da Eq. (1):

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

onde:

n : número de replicações já realizadas;

h: semi-intervalo de confiança já obtido; e

h*: semi-intervalo de confiança desejado.

Validação do Modelo:

Segundo Sargent (1998), o processo de validação do sistema é uma etapa fundamental, pois é ele que determina se o modelo proposto detém precisão suficiente para representar o sistema real. Desta forma se o modelo não é uma aproximação bastante próxima do sistema real, todas as conclusões derivadas deste estarão susceptíveis a erros e poderão resultar em decisões incorretas. Sendo assim a validação pode e deve ser feita para todos os modelos, independentemente do sistema modelado (LAW; KELTON, 2000).

Na execução do procedimento de validação, para o sistema em estudo, utilizou-se o erro médio estimado (Eq. 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; e

GLR – grau de liberdade considerando o número de replicações do modelo.

Tamanho da Amostra:

O tamanho de cada uma das cinco amostras, cronometradas neste trabalho, foi obtida, para um nível de confiança de 95%, através da Eq. (3) (MARROCO, 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 DISCUSSÃO

Foi realizada uma avaliação descritiva completa dos dados coletados na indústria de mosaicos no software Statistica® versão 10. A Tabela 1 apresenta, como exemplo, os dados coletados no processo de corte longitudinal das peças (TCL).

Tabela 1 – Análise dos dados – TCL.

Parâmetro analisado	TCL
Pontos	94
Média	82,3 s
Mediana	84 s
Mínimo	61 s
Máximo	99 s
1 Quartil (Q ¹)	79 s
3 Quartil (Q ³)	85 s
Desvio Padrão	5,85
Coefficiente de Variação	7,11 %

Segundo PIMENTEL GOMEZ (2000), nos experimentos de campo, se o coeficiente de variação for inferior a 10% tem-se um coeficiente de variação baixo, de 10 a 20% médio, de 20 a 30% alto e acima de 30% muito alto.

Tratamento de dados:

Inicialmente, os dados foram plotados em forma de *boxplot* (Figura 4) para uma análise preliminar do comportamento das observações. A seguir, aplicou-se a técnica de identificação de *outliers* (valores fora da normalidade) apresentada na Tabela 2 (MARROCO, 2003). As razões mais comuns para o surgimento desses valores são os erros na coleta de dados ou eventos raros e inesperados. 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.

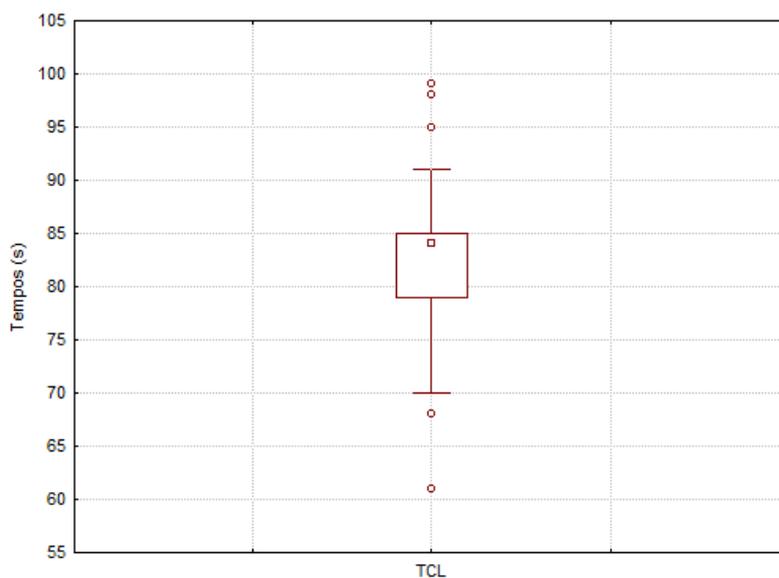


Figura 4 – *Boxplot* – TCL.
 Fonte – O Autor, 2013.
 Tabela 2 – Identificação de *outliers*.

Outliers

$$A=Q^3-Q^1$$

Valor $< Q^1-1,5A$ - *Outlier Moderado*

Valor $> Q^3+1,5A$ - *Outlier Moderado*

Valor $< Q^1-3,0A$ - *Outlier Extremo*

Valor $> Q^3+3,0A$ - *Outlier Extremo*

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) (CHWIF; MEDINA, 2007), concluiu-se que as distribuições, apresentadas na Tabela 3, são as expressões que melhor se adaptaram aos dados coletados no sistema.

Tabela 3 - Distribuição de probabilidades.

Itens	Distribuição
TCL	UNIF(75,100)
TCTG	6.25+LOGN(2.31,0.653)
TCTM	-19.4+GAMM(1.11,38.4)
TC	86.2+WEIB(24.5,1.89)
TS	-2.61+WEIB(23.5,4.73)

Validação do Modelo Implementado:

Inicialmente, a validação, do modelo computacional (Figura 5), foi realizada por meio da técnica face a face onde o modelo foi executado para os funcionários do processo de fabricação dos mosaicos que o consideraram correto. Na sequência realizou-se uma comparação (Tabela 4) entre a média obtida do sistema real com a média gerada pelo modelo para a variável Número de Mosaicos Produzidos (NMP). Nesta tabela apresenta-se, também, o erro médio estimado (SE, em decimal).

Tabela 4 - Dados do sistema real e do modelo.

Número de Mosaicos Produzidos NMP		
Sistema Real	Modelo Computacional	SE
105	103±7	0,51

Através da análise dos resultados da Tabela 3 pode-se concluir que o modelo computacional apresenta uma boa aproximação, em relação ao número de mosaicos produzidos, com o sistema real.

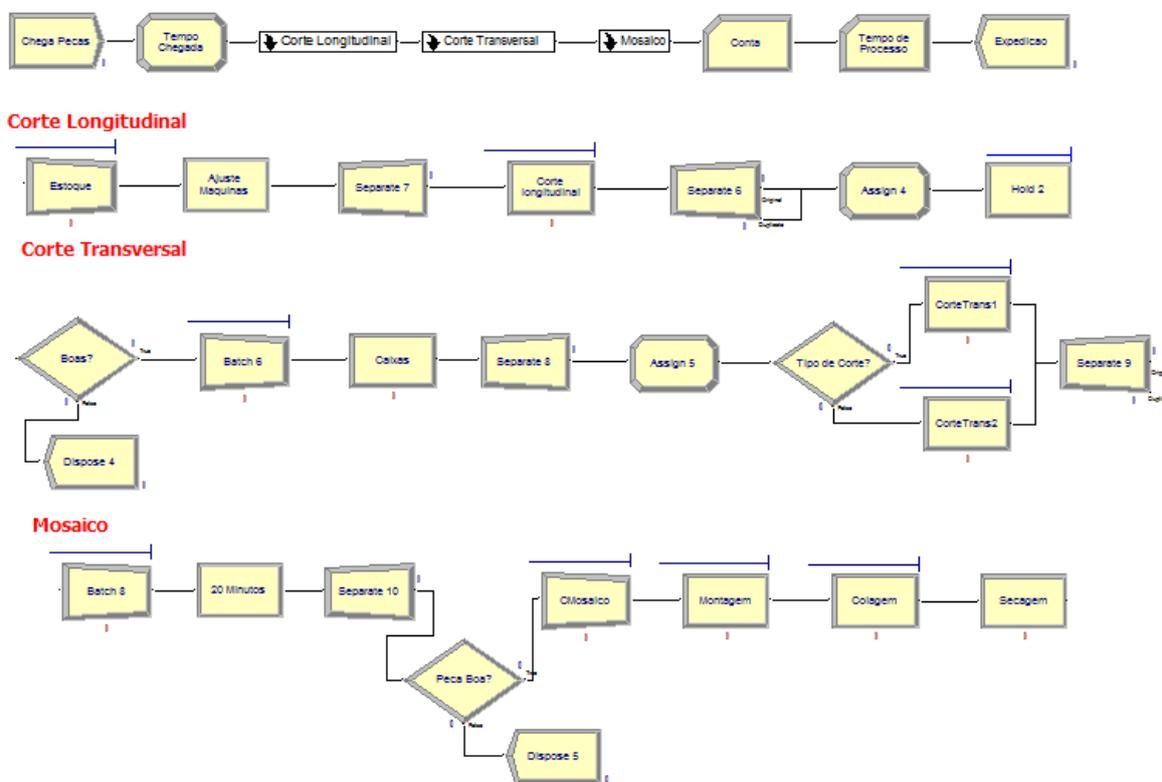


Figura 5 – Modelo computacional.
 Fonte – O Autor, 2013.

Simulação:

Uma vez validado o modelo computacional 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.

Observou-se de dados históricos da empresa que o “gargalo” principal, do sistema em estudo, está nos processos de montagem e colagem dos mosaicos.

Para analisar estes processos, são propostos dois cenários com o objetivo de observar a resposta do sistema a partir de alterações no número de funcionários atendendo o setor de montagem e colagem dos mosaicos. Os indicadores de desempenho utilizados para a análise são os tempos na fila dos processos de montagem e colagem e o tempo de produção de todo o lote de mosaicos.

- Cenário 1: Processos de montagem e colagem atendidos por 1 funcionário (Cenário Atual);
- Cenário 2: Processos de montagem e colagem atendidos por 2 funcionários.

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados obtidos da simulação do sistema, para os dois cenários. Observa-se que os resultados foram obtidos após 15 replicações. Este número de

replicações foi definido com nível de confiança de 95% utilizando a ferramenta *Output Analyzer* do Arena®.

Tabela 5 - Resultados de simulação dos cenários 1 e 2.

Cenário	Funcionários	TFC (min)	TFM (min)	Tempo de Produção (min)
1	1	173,97	92,031	893,4
3	2	50,32	42,82	707,1

TFC: Tempo na Fila da Colagem – TFM: Tempo na Fila da Montagem.

A partir dos dados apresentados na Tabela 5 pode-se observar, que o melhor cenário simulado é o cenário 2, que apresentou uma redução de aproximadamente 3 horas no tempo de produção, do lote de mosaicos, em relação ao cenário atual. Observa-se, também, a redução nos tempos de filas com a inclusão de mais um funcionário para o atendimento dos processos de montagem e colagem.

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 mosaicos de uma pequena empresa localizada na 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 mosaicos, principalmente na previsão da variável NMP (Número de Mosaicos Produzidos).

Observou-se-se, através dos resultados obtidos de simulação, que a utilização de mais um funcionário no atendimento dos processos de montagem e colagem reduz o tempo de fabricação em 3 horas.

Cabe ressaltar que o trabalho desenvolvido não analisou a viabilidade econômica envolvida na contratação de mais um funcionário, dessa forma um trabalho futuro poderia vir a explorar essa lacuna.

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 mosaicos.

REFERÊNCIAS

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

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

DÁCOL, M. R. V. *Caderno pedagógico: Abordagens do mosaico no ambiente escolar*. Secretaria de estado da educação Superintendência da Educação Programa de Desenvolvimento Educacional – PDE, Curitiba, 2008.

- 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, p. 166-70. 2006.
- FREITAS FILHO, P. J. *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena*. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw- Hill, 2000.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. *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.
- MONTGOMERY, D. C. *Design and Analysis of Experiments*. New York: Wiley, 2005.
- MARROCO, J. *Análise estatística de dados – com utilização do SPSS*. Lisboa: Sílabo, 2003.
- PRADO, D. *Usando o ARENA em simulação*. Nova Lima: INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, 2010.
- PASQUAL, C. A.; PEDROZO, E. A. Características do negócio no setor de máquinas agrícolas. *RAE*, v. 6. 2007.
- PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. Piracicaba: Degaspari, Piracicaba, 2000.
- RYAN, J.; HEAVEY, C. Process modeling for simulation. *Computers in Industry*. v. 57, p. 437-50. 2006.
- SARGENT, R. G. *Verification and validation of simulation models*. In: WINTER THE SIMULATION CONFERENCE, 1998, Proceedings... Washington: WSC, p. 20-8, 1998.
- VIDAL, F. W. H.. *A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará*. São Paulo:USP, 1995. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: Bookman, 2001.