

## **Aplicação de simulação computacional na avaliação de ganhos decorrentes de mudanças no arranjo físico de uma planta de corte em folhas**

Jorge Luiz Micheletti Goessler (UTFPR) [jlgoessler@gmail.com](mailto:jlgoessler@gmail.com)

Gerson Ishikawa (UTFPR) [gersonishikawa@utfpr.edu.br](mailto:gersonishikawa@utfpr.edu.br)

João Luiz Kovaleski (UTFPR) [kovaleski@utfpr.edu.br](mailto:kovaleski@utfpr.edu.br)

Shih Yung Chin (UTFPR) [chin@utfpr.edu.br](mailto:chin@utfpr.edu.br)

### **Resumo:**

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de papel e celulose, sendo também significativa a sua produção de embalagens de papel e serviços de corte em folhas. O objetivo deste trabalho é avaliar ganhos de produtividade em uma linha de produção de folhas de papel cartão resultantes da redução dos tempos de movimentação de insumos, por meio de modificações no arranjo físico da planta. Para alcançar este fim, foi utilizada simulação computacional, que permitiu a análise e experimentação de diferentes cenários sem afetar o sistema real, em um modelo elaborado com o uso do *software Simul8*. Os cenários simulados previam a redução gradativa do tempo de alimentação de paletes na máquina de corte de 15 minutos para 12, 10 e 5 minutos, obtendo-se ganhos em aumento de unidades produzidas de 3.87%, 7.15% e 16.60%, respectivamente. Concluiu-se que com a redução do tempo despendido nesta atividade, a disponibilidade da máquina aumentou, decorrente do maior tempo disponível do operador na máquina, justificando o aumento de produção.

**Palavras chave:** simulação, arranjo físico, produtividade, papel cartão

## **Application of computer simulation in evaluating gains resulting from changes in the layout of a sheet cutting plant**

### **Abstract**

Brazil is one of the major world producers of pulp and paper, being also significant its paper packages production and cutting sheet services. The objective of this study is to evaluate gains in productivity of a paper board sheet production line resulting from the reduction of inputs handling time, through changes in the layout of the facility. To achieve this objective, computer simulation was used, which allowed the analysis and testing of different scenarios without affecting the real system, on a model developed with SIMUL8 software. The simulated scenarios previewed a gradual reduction of the pallet feeding time in a cutting machine from 15 minutes to 12, 10 and 5 minutes, obtaining gains in produced units of 3.87%, 15.07% and 16.60% respectively. It was concluded that by reducing the time spent in this activity, the machine availability was increased, due to the longer available time of the operator at the machine, justifying the increase of production.

**Key-words:** simulation, layout, productivity, paper board

### **1. Introdução**

O Brasil destaca-se no mercado mundial como um grande produtor de papel. Segundo a

Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA (2012), nos últimos dez anos houve um aumento de 27,0% na produção de papel, com crescimento médio de 2,7% ao ano. De acordo com o relatório Conjuntura BRACELPA (2012), no primeiro semestre de 2012 foram produzidas 4.911.000 toneladas de papel no Brasil, resultando em um aumento de 0,6% em relação ao mesmo período no ano passado e significando uma porcentagem de 3% de participação do setor nas exportações brasileiras.

Pela publicação Pesquisa Industrial – Produto (IBGE, 2010), o serviço de corte de papel (ou serviços relacionados) gerou um valor de R\$ 92.448.000,00 em vendas. Segundo a Associação Brasileira de Embalagens (2012), em 2011 a produção de embalagens de papel, papelão e cartão registrou um aumento de 2,91% em relação a 2010, representando 33,30% do total da produção de embalagens no Brasil.

A estabilidade da economia brasileira e o aumento da demanda nos últimos anos têm aumentado a competitividade entre as empresas em diversos setores, e conseqüentemente se faz necessário o estudo do mercado e o planejamento dos investimentos a fim de não comprometer o futuro da empresa (SOUZA; BACHEGA, 2012). Diante deste cenário, tem sido cada vez maior o uso da ferramenta da simulação computacional, que auxilia os gestores na tomada de decisão de problemas complexos de mudança nos sistemas e fluxos existentes, ou no projeto de novos sistemas (SAKURADA; MIYAKE, 2009).

Constatada a importância do setor de celulose e papel, em especial o de corte em folhas, e considerando um contexto de alta competitividade no mercado, se faz necessário para a indústria buscar constantemente o aumento de produtividade a fim de manter a sobrevivência e alcançar a liderança no setor. Tendo em vista esta necessidade, o presente estudo tem como objetivo avaliar modificações no arranjo físico de uma linha de produção de corte de papel cartão em folhas visando o aumento de produção da mesma, por meio de simulação computacional.

## **2. Revisão de Literatura**

### **2.1. Simulação Computacional**

A simulação computacional é o processo de criar um modelo em computador de um sistema, com o objetivo de realizar experimentos que nos proporcionem uma melhor compreensão sobre este sistema, sob um determinado conjunto de condições (KELTON; SADOWSKI e SADOWSKI, 2001). Prado (1999) define simulação como “uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”.

Para Kelton, Sadowski e Sadowski (2001), análises obtidas por meio de um simulador têm a finalidade de medir o desempenho de um sistema, melhorar seus processos ou projetá-lo caso não exista. Segundo Freitas (2001), a simulação busca principalmente a descrição do comportamento do sistema, a construção de hipóteses considerando as observações efetuadas e a previsão de comportamentos futuros do sistema. Assim, podemos dizer que o principal objetivo de um trabalho de simulação é obter um maior conhecimento do sistema por meio de um modelo que permita análises, inferências e previsões sobre o sistema real.

Autores como Souza e Bacheга (2012), Klen, Guimarães e Pereira (2008) e Silva et al (2010), citam as vantagens do uso da simulação, como a habilidade de lidar com problemas complexos, possibilidade de identificação de gargalos, não interferência no sistema real durante a experimentação e a manipulação do tempo, de maneira que eventos que despenderiam muito tempo para serem avaliados podem ser analisados em questão de segundos. Por outro lado, os mesmos autores também demonstram que há desvantagens no uso da simulação, como necessidade de conhecimento específico do software utilizado, que

implica em custos e tempo de treinamento, e também o fato de que muitas vezes não se sabe se um determinado resultado de um modelo é causado por uma alteração controlada em uma variável, ou devido às interações entre os elementos do sistema, dificultando a interpretação dos resultados. Caso o sistema real seja de elevada complexidade, o tempo para a construção do simulador computacional é alto, configurando-se como mais uma desvantagem.

São muito comuns as aplicações da simulação computacional, como em sistemas de produção, de prestação de serviços e administrativos, além de redes de computadores e sistemas logísticos (FREITAS, 2001), com um grande volume de estudos nestas áreas. Ekren e Ornek (2012) avaliaram a influência de alguns parâmetros pré-definidos de processo no desempenho de um sistema de manufatura. Estes parâmetros eram o arranjo físico (celular ou funcional), tamanho de lote, capacidade dos transportadores, programação de produção e paradas por quebra de máquina. Os autores concluíram que todos estes fatores devem analisados de maneira conjunta ao se realizar modificações na unidade manufatureira, devido a influência de um fator sobre o outro, daí a importância do uso da simulação computacional.

Azadeh et al (2011) elaborou um estudo de caso de uma linha de produção de refrigeradores, na qual o gargalo é a etapa de injeção de moldes. A empresa desejava aumentar a produção para manter-se competitiva, e para isto necessitava otimizar o arranjo físico desta linha de produção. Por meio da simulação e de uma metodologia desenvolvida pelo autor, foi possível encontrar o arranjo físico que maximizasse a produção da linha.

Andrade et al (2011) tinha por objetivo avaliar em qual etapa do processo produtivo de uma empresa de carregamento e transporte de minérios seria realizado um investimento, representado pela instalação de uma nova balança. Os autores também identificaram uma potencial melhoria no arranjo físico do local onde era realizada a atividade de pesagem, que também foi avaliada. Para identificar qual era a melhor alternativa de investimento, foi elaborado um simulador computacional e testados quatro cenários diferentes, variando o local onde a balança seria instalada e também a alteração no arranjo físico, que envolvia a disponibilização de um local para espera dos caminhões a serem pesados. A melhor alternativa foi aquela em que se propôs a instalação da nova balança na entrada do processo e também a alteração do arranjo físico acima citada, resultando em menores filas e menores tempos médios de espera na balança.

O estudo de Silva, Alves e Costa (2011) tinha por objetivo reduzir a quantidade de cana de açúcar estocada no pátio de uma usina, a fim de proporcionar maior qualidade do produto final, uma vez que a matéria prima degrada-se com o tempo. A principal variável manipulada foi “turno de trabalho” nas frentes de corte, carregamento e transporte. Verificou-se que com duas turmas e uma defasagem de duas horas entre o início do turno de cada uma obteve-se um menor nível de matéria prima no pátio, além de um abastecimento mais estável.

Percebe-se que não há um número significativo de estudos publicados de simulação no setor de celulose e papel, sendo ainda mais escassos os estudos na área de corte em folhas.

### **3. Metodologia**

#### **3.1. Descrição do sistema real**

O presente trabalho tem como objeto de estudo uma das máquinas de corte em folhas, denominada “cortadeira A”, de uma grande empresa no setor de papel localizada na região dos Campos Gerais, no Paraná. Esta planta industrial de corte em folhas é composta por três cortadeiras e uma embaladeira, além de áreas de armazenamento de insumos.

As cortadeiras têm por função transformar bobinas de papel em pilhas de folhas (*skids*), com formato e número de folhas determinados pelo cliente final. O fluxo de materiais nesta área é

o seguinte: as bobinas, matéria prima principal, vêm de um depósito externo ao prédio das cortadeiras. Cada cortadeira recebe as bobinas que lhe são destinadas, de acordo com os pedidos, e também os paletes. As bobinas então são cortadas em folhas pelas cortadeiras e empilhadas sobre os paletes, formando os *skids*. Cada *skid* então é transportado por esteiras até a embaladeira, e então para a área de expedição. O fluxograma do processo é representado pela figura 1.

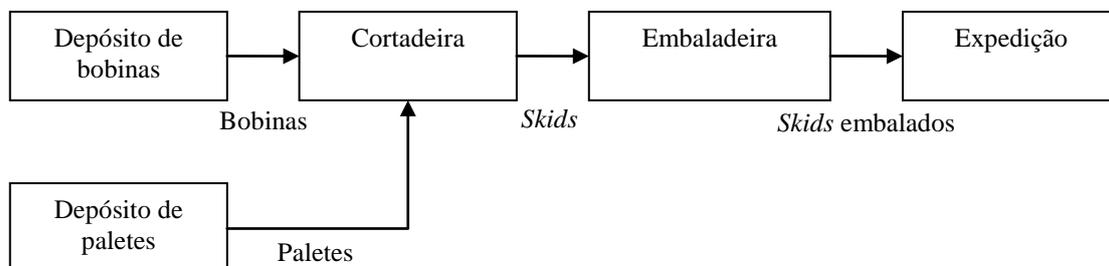


Figura 1 – Fluxograma do processo de corte em folhas  
Fonte: autoria própria

As cortadeiras analisadas têm capacidade para cortar uma bobina por vez. Os insumos utilizados nas cortadeiras, além das bobinas, são os paletes. Os paletes são transportados por empilhadeira até as cortadeiras, de um estoque intermediário dentro do prédio das cortadeiras. Nas cortadeiras, ficam armazenados no empilhador, que alimenta automaticamente a cortadeira. Quando os paletes do empilhador chegam a um nível baixo (aproximadamente 5 unidades), o operador que controla a máquina toma uma empilhadeira e busca mais paletes do estoque existente na área.

Para operar cada cortadeira são necessários dois operadores, o operador 1 e o operador 2. O operador 1 é o de menor grau hierárquico, e atua auxiliando o operador 2. O operador 2 é quem controla a cortadeira e é responsável pela qualidade e produção da máquina, e também pela alimentação de paletes. Toda vez que o operador 2 precisa abastecer a cortadeira com paletes a máquina é operada por apenas um funcionário, sendo necessário reduzir a velocidade para permitir que todas as tarefas sejam cumpridas satisfatoriamente e com segurança, implicando em uma perda de produtividade.

### 3.2. Coleta de dados

Por meio de observação em campo e entrevistas com operadores, verificou-se que o tempo médio para a atividade de transporte de paletes até as cortadeiras é de 15 minutos. Foram coletados no sistema de registro de produção o total de *skids* produzidos no mês de abril de 2012, assim como o tempo de produção de cada um, formato, número de folhas e gramatura (gramas por metro quadrado de papel). Deste modo foi possível estimar o tempo médio real de produção por *skid*, seu desvio padrão e distribuição estatística mais apropriada. O fabricante do equipamento fornece uma tabela com as velocidades da máquina de acordo com o comprimento de folha, que permitiu o cálculo do tempo teórico de processamento de um *skid*. A fábrica utiliza a metodologia do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) para apontamento de paradas das plantas, que foi a fonte de dados para se calcular a disponibilidade da cortadeira. Consideraram-se todas as paradas por quebras, falhas operacionais e falta de material no período de abril de 2012 para se obter este índice.

### 3.3. Modelagem Computacional

O modelo computacional foi elaborado utilizando o software *Simul8*, versão educacional, da *Simul8 Corporation*. A figura 2 traz a imagem do modelo.

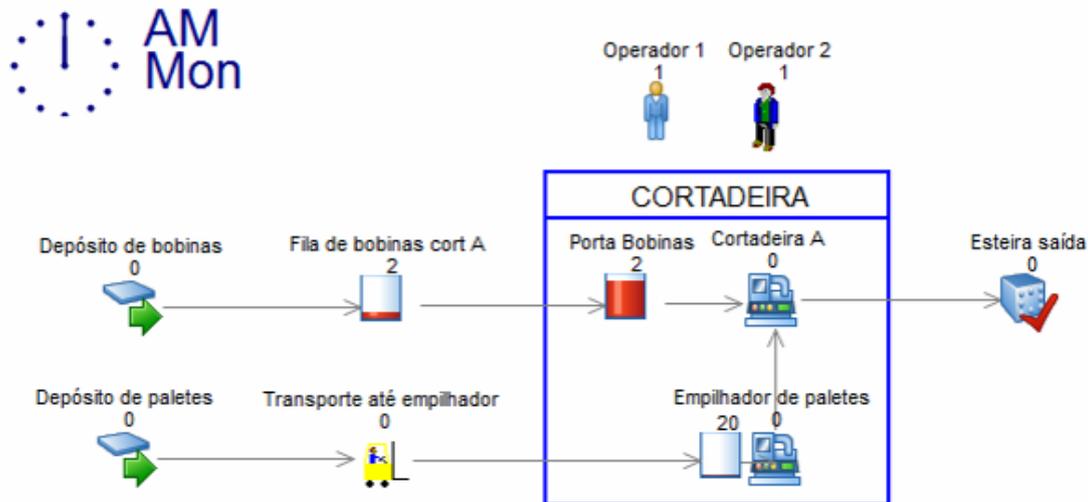


Figura 2 – Modelo computacional elaborado com o software *Simul8* para o presente estudo  
Fonte: autoria própria

Foram associados ao centro de trabalho “cortadeira A” os recursos “operador 1” e “operador 2”, e ao centro de trabalho “transporte até o empilhador” o recurso “operador 2”. Toda vez que é necessário realizar a atividade de transporte de paletes até o empilhador, o recurso “operador 2” sai da cortadeira para este centro de trabalho, gerando uma parada na cortadeira. Foi escrito uma linha de comando com o recurso *visual logic* no centro de trabalho “transporte até o empilhador”, para que ocorra a alimentação do empilhador de paletes com 15 unidades (média) todas as vezes que a fila do empilhador chega a cinco unidades. Para simular o tempo que o operador 2 toma para a atividade de alimentação do empilhador de paletes, foi utilizado o recurso *travel time* desta entidade, configurado inicialmente para 15 minutos.

O tempo teórico gasto para a produção de cada *skid* na cortadeira foi calculado pela equação 1, onde:

tempo\_corte\_skid: tempo gasto pela cortadeira para o corte de um *skid*, em minutos;  
 comprimento\_folha: medida em milímetros do comprimento da folha do *skid*;  
 número\_folhas\_skid: quantidade de folhas de cada *skid*;  
 velocidade\_cortadeira: velocidade com que a bobina é desenrolada na cortadeira, em metros por minuto;  
 número\_saídas: quantidade de *skids* cortados simultaneamente pela cortadeira

$$\text{tempo\_corte\_skid} = \frac{\left( \frac{\text{comprimento\_folha} \times \text{número\_folhas\_skid}}{\text{velocidade\_cortadeira} \times 1000} \right)}{\text{número\_saídas}}$$

Equação 1 – cálculo do tempo teórico de processamento de um *skid*  
Fonte: autoria própria

Utilizando a equação 1, foram calculados para três produções diferentes do mês de abril, escolhidas aleatoriamente, os tempos de processamento teóricos e inseridos no centro de trabalho “cortadeira A” do modelo computacional. Os valores dos tempos de processamento reais de cada *skid* destas respectivas corridas foram analisados com o software *Statdisk*, que nos permitiu concluir que a distribuição destes tempos é do tipo normal, e obter seus desvios padrão. Estes valores estão na tabela 1.

Parâmetros	unidade	Produção 1	Produção 2	Produção 3
gramatura	g/m <sup>2</sup>	296	280	262
largura x comprimento de folha	mm	1165 x 901	978 x 749	1295 x 739
número de folhas por <i>skid</i>	unidade	2200	2350	2600
velocidade teórica	m/min	335	329	322
tempo teórico por <i>skid</i>	min	5,91	5,35	5,97
tempo médio real por <i>skid</i>	min	10,05	8,3	9
desvio padrão real do tempo por <i>skid</i>	-	6,04	5,21	5,08
tempo de produção real	min	180	995	546
distribuição probabilística do tempo de processamento real	-	normal	normal	normal

Tabela 1 - Dados de processo da cortadeira

Utilizando os dados da tabela 1 no modelo computacional, obtivemos os resultados da tabela 2.

Parâmetros de comparação	unidade	Produção 1	Produção 2	Produção 3
produção real	<i>Skid</i>	19	120	56
produção simulada	<i>Skid</i>	18	116	59,8
desvio produção simulada/real	%	5,26%	3,33%	-6,79%

Tabela 2 – Comparação dos dados reais de produção com os obtidos pelo simulador

Silva, Alves e Costa (2011) afirmam que diferenças de até 5% entre os resultados do simulador e o do sistema real são consideradas adequadas. Esta diferença para o modelo elaborado neste trabalho foi em média 5,12%, desta maneira pode-se considerá-lo validado pelo mesmo critério.

Foram propostos três cenários a serem experimentados com o simulador, referentes a melhorias no arranjo físico da planta. Para o primeiro cenário, seria designado um local para o depósito de paletes mais próximo da cortadeira, de maneira que o tempo para a tarefa de transporte de paletes até o empilhador fosse diminuída em 3 minutos, em média. Para o segundo, esta distância seria reduzida ainda mais, e o tempo para a alimentação de paletes seria de 10 minutos, e finalmente, no último cenário, este tempo seria de 5 minutos, por meio de um local de armazenagem de paletes ao lado da cortadeira. Foram comparados os valores de produção, taxa de ocupação da cortadeira e disponibilidade do operador 2 na cortadeira para cada um dos cenários.

#### 4. Resultados

Os resultados obtidos para as diferenças de unidades produzidas (*skids*) em relação à situação atual estão plotadas na figura 3. Verifica-se que ocorreu um aumento da produção em todos os cenários propostos para as três produções, com um valor médio de 3.87% para o cenário 1, 7.15% para o cenário 2 e 16.60% para o cenário 3. Isso quer dizer que à medida que ocorre uma redução do tempo da operação de transporte de paletes até o empilhador, o operador 2 ficará mais tempo disponível na cortadeira, reduzindo o período de tempo em que a máquina fica parada ou em velocidade reduzida pela falta do operador 2.

Para a produção 1 observamos ganhos menores do que para as outras gramaturas. Isso pode ser explicado pelo fato da corrida deste produto ser a de menor tempo total do presente estudo. Este menor período de coleta de dados implica em menor quantidade de dados analisados pelo simulador, aumentando a variabilidade dos resultados.

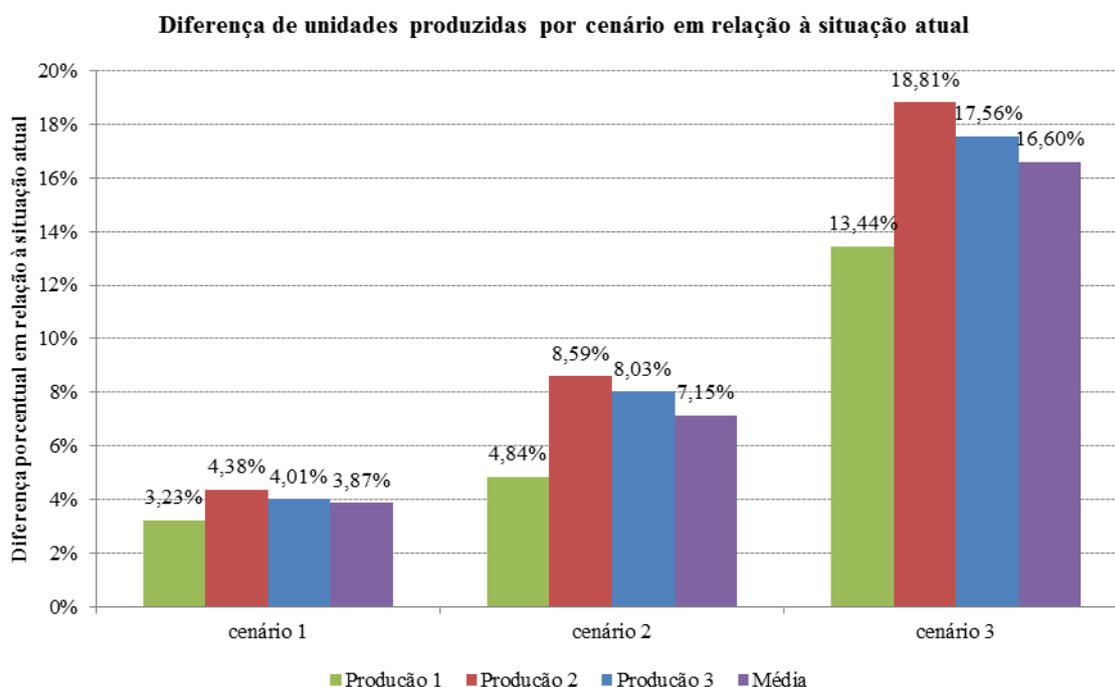


Figura 3 – Gráfico da diferença de unidades produzidas obtidas nos diferentes cenários propostos em relação à situação atual, em porcentagem

A figura 4 traz o gráfico com os resultados referentes à taxa de ocupação da cortadeira em relação à situação atual. A taxa de ocupação é o indicador que mostra quanto tempo um equipamento ou máquina efetivamente trabalhou, excluindo então os tempos de parada, quebras e falta de recursos. Para o cenário 1, obteve-se um ganho médio de 1.75% em relação à situação atual, o cenário 2, 3.38% e o cenário 3, 6.83%. Isso indica que à medida que reduziu-se o tempo da atividade de transporte de paletes até o empilhador, o operador 2 ficou mais tempo na máquina, reduzindo o tempo de máquina parada por falta de operador e aumentando então a produção da mesma.

**Diferença da taxa de ocupação da cortadeira em relação à situação atual**

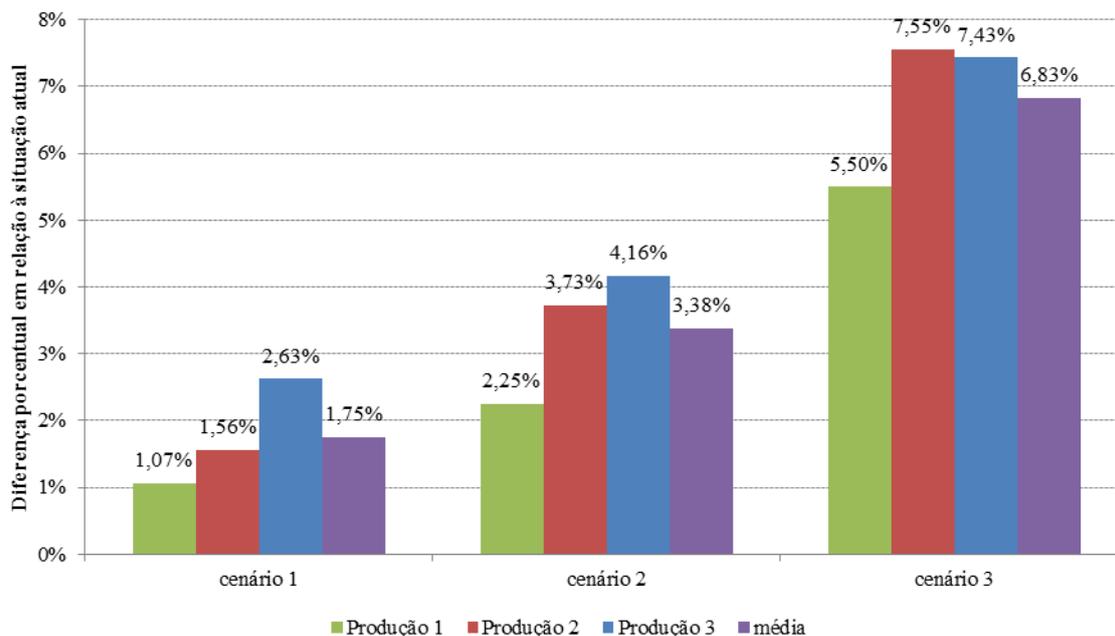


Figura 4 – Gráfico da diferença da taxa de ocupação da cortadeira obtidas nos diferentes cenários propostos em relação à situação atual, em porcentagem

**Diferença da disponibilidade do operador 2 na cortadeira em relação à situação atual**

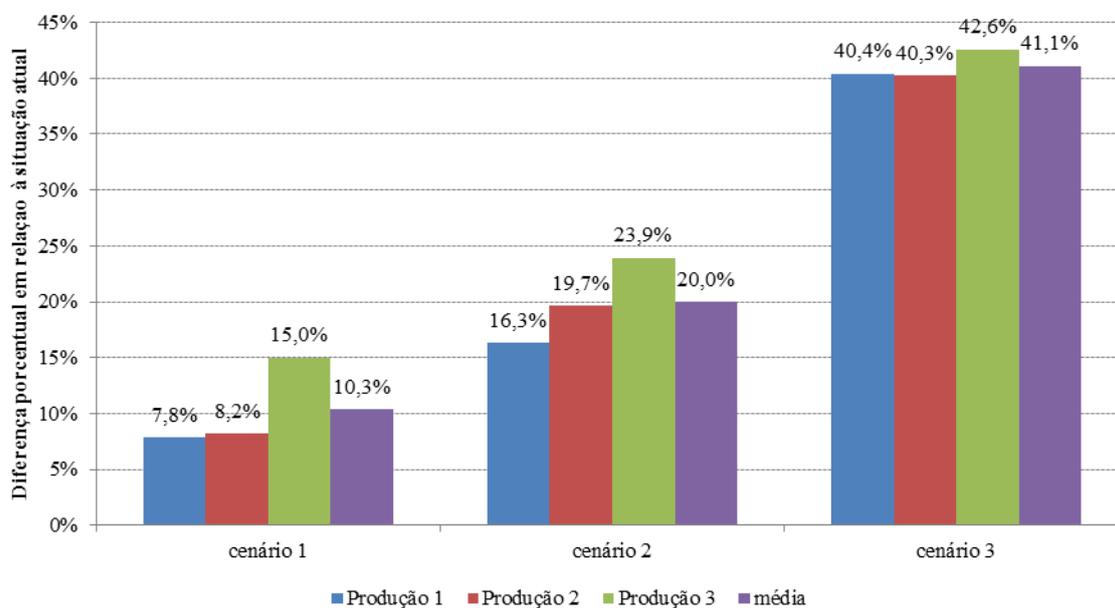


Figura 5 – Gráfico da diferença da disponibilidade do operador 2 na cortadeira obtidas nos diferentes cenários propostos em relação à situação atual, em porcentagem

A figura 5 mostra um desdobramento da taxa de ocupação da cortadeira. As porcentagens do

gráfico representam a diferença entre a fração de tempo que a cortadeira ficou parada pela falta do operador 2 na situação atual e nos diferentes cenários propostos. No cenário proposto 1, esta diferença percentual foi em média 10.3%. Para o cenário 2, este valor foi de 20.0% e para o cenário 3, 41.1%. Os valores são negativos, pois o tempo de parada devido a falta do recurso reduziu, entretanto para tornar a análise do gráfico mais fácil os valores foram convertidos para positivo.

Analisando esta informação com os gráficos anteriores, pode-se concluir que à medida que o tempo necessário para a atividade de transporte de paletes até a cortadeira reduz, o tempo que o operador fica ausente da máquina também reduz, resultando em menores tempos de parada de máquina, maiores percentuais de taxa de ocupação da máquina e conseqüentemente maior produção.

## 5. Conclusões

O presente estudo atingiu o objetivo de avaliar possíveis modificações no arranjo físico de uma linha de corte de papel cartão em folhas, verificando os ganhos decorrentes da redução dos tempos de transporte de insumos utilizando simulação computacional.

Por meio de observações em campo, entrevistas com funcionários e extração de informações dos bancos de dados da empresa, foi possível obter os dados sobre tempos de processamento e indisponibilidade da máquina, tempo das atividades de movimentação de material e de produção. Estas últimas foram importantes para a validação do modelo computacional, que apresentou uma diferença média de 5,12% para os valores do sistema real, sendo considerado então próprio para este estudo.

Foram propostos três cenários diferentes para experimentação, nos quais os tempos de transporte de paletes até a máquina de corte foi gradualmente reduzido. Estas reduções seriam resultado de melhorias no arranjo físico da área, de maneira que estes insumos ficassem mais próximos da máquina. Foram avaliadas então o total de unidades produzidas, a taxa de ocupação da máquina e disponibilidade do operador na máquina.

Os resultados em produção e disponibilidade da máquina foram sempre crescentes, porém não proporcionais à redução do tempo de transporte. Para o primeiro cenário, o ganho em produção foi de 3.87% e em disponibilidade da máquina, 1.75%; para o segundo cenário, 7.15% e 3.38%; e para o terceiro, 16.60% e 6.83%. A redução de tempo de parada da máquina pela falta de operador reduziu gradativamente. Os resultados não proporcionais demonstram a importância do uso da simulação computacional, pois uma análise baseada em métodos analíticos poderia levar a resultados equivocados, que não considerariam a dinâmica e aleatoriedade do sistema real.

Os ganhos em produção devido mudanças de arranjo físico já foram verificados em outros estudos de simulação. Ekren e Ornek (2012) concluíram em seu estudo que mantendo o arranjo físico atual de um sistema de manufatura (funcional) eram previstos ganhos de 46,4% em redução do tempo de processamento, entretanto eram necessários investimentos em equipamentos. Um ganho de 44,8% seria obtido com a modificação para um arranjo físico celular, sem grandes custos. Azadeh et al (2011) testou várias possibilidades de arranjo físico para uma linha de montagem e por meio de simulação encontrou a que oferecia menor tempo de espera e lead time, e maior taxa de ocupação dos equipamentos. Soares et al (2010) obteve uma redução de 19,5 horas para 12 horas e 35 minutos no processamento de 1.200 unidades em uma célula de manufatura por meio de alterações no arranjo físico. Andrade et al (2011) considerou que a modificação no arranjo físico do posto de trabalho da balança de entrada de uma empresa de carregamento de minérios, representada pela delimitação de um local de espera para os caminhões já pesados a fim de liberar este posto para novas pesagens, foi

essencial para se obter ganhos em redução de tempo médio no sistema por caminhão e também para a melhoria do fluxo no sistema.

Assim, por meio da simulação computacional, comprovam-se os ganhos obtidos na redução do tempo de movimentação de insumos nesta área produtiva, que devem agora ser comparados com os custos e os esforços necessários para a implantação das melhorias necessárias à redução do tempo desta atividade. Esta análise deve ser objeto de outros estudos, assim como também há possibilidade de se melhorar o modelo computacional elaborado para estudos mais abrangentes.

### Referências

- ANDRADE, R. Q.; GOLOBOVANTE, A. F. M.; PRAZERES, I. P.; OLIVEIRA, L. M.; MARTINS, L.L.** *Aplicação de Simulação de Processos em um Sistema de Carregamento e Pesagem de Caminhões em uma Mina.* XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial. Belo Horizonte, MG, Brasil, 04 a 07 de Outubro de 2011.
- BRACELPA, Associação Brasileira de Celulose e Papel.** Conjuntura BRACELPA. N. 44, jul. 2012. Disponível em < <http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/conjuntura/CB-044.pdf>>. Acesso em 01 Agosto 2012.
- BRACELPA, Associação Brasileira de Celulose e Papel.** Dados do Setor. Disponível em <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/bolet.pdf>>. Acesso em 01 Agosto 2012.
- ABRE, Associação Brasileira de Embalagem.** Disponível em < [http://www.abre.org.br/centroinfo/dados\\_2011.pdf](http://www.abre.org.br/centroinfo/dados_2011.pdf)>. Acesso em 30 Agosto 2012.
- AZADEH, A.; MOGHADDAM, M.; ASADZADEH, S. M.; NEGAHBAN, A.** *An integrated fuzzy simulation-fuzzy data envelopment analysis algorithm for job-shop layout optimization: The case of injection process with ambiguous data.* European Journal of Operational Research. N. 214, p. 768-779, 2011.
- EKREN, B. Y.; ORNEK, A. M.** *A simulation based experimental design to analyze factors affecting production flow time.* Simulation Modelling Practice and Theory. Vol. 16, p. 278-293, 2008.
- FREITAS, P.** *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas – com Aplicações em Arena.* Florianópolis: Visual Bos, 2001.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Pesquisa Industrial Anual – Produto 2010. Rio de Janeiro, vol. 29, n. 2, 2010.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; SADOWSKI, D. A.** *Simulation with Arena.* 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2001.
- KLEN, A. M.; GUIMARÃES, I. F. G.; PEREIRA, D. M.** *A utilização da simulação em gestão hospitalar: aplicação de um modelo computacional em um centro de imobilizações ortopédicas.* XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: A Integração de Cadeias Produtivas com a Abordagem da Manufatura Sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de Outubro de 2008.
- PRADO, D.** *Usando o Arena em simulação.* Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.
- SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I.** *Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços.* Gestão & Produção. São Carlos, vol. 16, n. 1, p. 25-43, 2009.
- SILVA, J. E. A. R.; ALVES, M. R. P. A.; COSTA, M. A. B.** *Planejamento de turnos de trabalho: uma abordagem no setor sucroalcooleiro com uso de simulação discreta.* Gestão & Produção. São Carlos, vol. 18, n. 1, p. 73-90, 2011.
- SILVA, J. M. A.; JÚNIOR, M. V.; COPPINI, N. L.; BAPTISTA, E. A.; PILEGGI, G. C. F.** *Balanceamento de células flexíveis de manufatura pela otimização das condições operacionais e uso do software Arena.* XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: Competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente. São Carlos, SP, Brasil, 12 a 15 de Outubro de 2010.
- SOARES, J. P. M.; BELTRAME, E.; ARAÚJO, C. L. K.; LEMOS, F. O.** *Racionalização Da Mão-De-Obra E Mudanças De Layout Com Apoio De Simulação Computacional: Estudo De Caso Em Uma Célula De Manufatura.* XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: Maturidade e desafios da

Engenharia de Produção: Competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente. São Carlos, SP, Brasil, 12 a 15 de Outubro de 2010.

**SOUZA, F. M.; BACHEGA, S. J.** *Simulação computacional: um estudo de caso em uma empresa automobilística.* Revista Gestão Industrial. Ponta Grossa, vol. 08, n. 1, p. 59-75, 2012.