

## ANÁLISE POR SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS DE UMA EMPRESA CALÇADISTA – *LEAD TIME* E ESTOQUE INTERMEDIÁRIO

### **José da Silva Ferreira Junior**

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)  
Av. BPS, 1303, Itajubá/MG, CEP: 37500-903  
[joseferjunior@yahoo.com.br](mailto:joseferjunior@yahoo.com.br)

### **Julián Ignacio López Arcos**

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)  
Av. BPS, 1303, Itajubá/MG, CEP: 37500-903  
[burack\\_sa@hotmail.com](mailto:burack_sa@hotmail.com)

### **Gustavo Silveira de Oliveira**

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)  
Av. BPS, 1303, Itajubá/MG, CEP: 37500-903  
[gustavo.efei@gmail.com](mailto:gustavo.efei@gmail.com)

### **Carlos Eduardo Sanches da Silva**

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)  
Av. BPS, 1303, Itajubá/MG, CEP: 37500-903  
[sanches@unifei.edu.br](mailto:sanches@unifei.edu.br)

### **RESUMO**

O ramo calçadista, mesmo sendo um dos mais importantes do país, carece de trabalhos a seu respeito, visando melhorias de qualidade, produtividade entre outras. Com o intuito de corroborar com a literatura deste meio, esta pesquisa visa analisar, por meio de simulação a eventos discretos, um ambiente de manufatura calçadista, tendo por objetivos, estimar o *lead time* de produção e os estoques intermediários. Para tanto, a metodologia utilizada foi a de modelagem e simulação, contudo, sem aplicação dos resultados no objeto de estudo e demonstra-se como resultados, para cada objetivo, as distribuições probabilísticas que melhor se adéquam aos dados de saída do simulador. Espera-se, portanto, como contribuição científica, que haja uma melhor percepção deste tipo de ambiente fabril, fomentar novos estudos na área e demonstrar apresentações aplicações em diferentes meios da simulação computacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Indústria calçadista, modelagem de processos, simulação computacional.

### **ABSTRACT**

The shoe industry, even being one of the most important economic sectors of the country, lacks studies about them, in order to improve quality, productivity, among others, in their companies. With the intention to corroborate with the literature of this mode, this research aims to analyze, by means of discrete event simulation, an environment of footwear manufacture and will aim to estimate the production lead time and work in process. Therefore, the methodology used was the modeling and simulation, however, without application of the results in the object of study and it is shown how results, for each objective, the probability distributions that better fit to the data output of the simulator. Thus, it is expected as a scientific contribution, there is a better understanding of this type of manufacturing environment, encourage further studies in the area and show presentations in different applications means of computer simulation.

**KEYWORDS:** Footwear industry, process modeling, computer simulation.

## 1. Introdução

Em um contexto de concorrência acirrada no qual as empresas se encontram, além da evolução tecnológica dos processos de produção e dos produtos, as organizações manifestam cada vez mais o desejo de obter vastas informações, as quais serão suporte às decisões referentes a investimentos, linhas de produtos, processo de produção, alocação de custos, entre outros (SOUTO JÚNIOR, LOCH e MOITA, 2010). Somam-se a isto, as necessidades de respostas rápidas e flexibilidade para mudanças de cenários (XAVIER *et al.*, 2010), as quais alçaram a manufatura a um papel de destaque dentro do mundo dos negócios.

Analisar e avaliar alternativas para a tomada de ações não são tarefas fáceis, principalmente quando os resultados da escolha não podem ser totalmente previstos. Por mais experiente que um gestor possa ser, o conhecimento acerca do processo produtivo, bem como dos custos de produção, ainda é obscuro quando uma pergunta é feita: “o que ocorrerá se?” (*What-if questions*). Para seu auxílio, técnicas de simulação aparecem como uma ferramenta minimizadora da complexidade que envolve a tomada de decisão em organizações que buscam, constantemente, vantagens competitivas. A simulação gera informações bastante precisas, levando à avaliação de vários cenários, permitindo, sobretudo, decisões satisfatórias (XAVIER *et al.*, 2010).

Voltando-se para a indústria de calçados, nota-se, segundo Godinho Filho, Fernandes e Lima (2009), que a mesma é um importante setor da economia brasileira tanto pelo seu volume de produção quanto pela sua expressiva participação na pauta de exportações, além da sua capacidade de geração de empregos. Outro ponto a se salientar deste ramo industrial é a busca por melhorias em vista da alta competitividade que o setor atravessa. Isto acarreta investigações por novas formas de atuação, mudanças de processos e de produtos, novos mercados, entre outros quesitos, conforme a literatura (BAMFORD e LAND, 2006; ORSINI, 2010; SILVA e FERNANDES, 2008) demonstra.

Devido a esta busca de melhorias, este trabalho vem a analisar a problemática em uma indústria em específico, situada na cidade de Franca, interior paulista, no quesito de administrar seu *lead time* de produção e eficiência de seus setores. Para tanto, determinou-se a utilização de estoques intermediários os quais devem solucionar problemas de paradas não programadas por falta de materiais. Em vista disto, o dimensionamento de tais estoques faz-se necessário, refletindo, assim, no tempo de atravessamento dos produtos e na utilização dos recursos produtivos.

Com isto, o objetivo geral apresentado para esta pesquisa é de modelar um sistema que represente as características de um processo de manufatura no setor calçadista. Como objetivos específicos, têm-se: estimar os estoques intermediários e o *Lead Time* de produção por meio da simulação a eventos discretos e apresentar os resultados obtidos.

Justificando o estudo, Godinho Filho, Fernandes e Lima (2009) em sua pesquisa, relataram a publicação de 209 trabalhos sobre a gestão da produção na indústria calçadista entre os anos de 1980 até 2009 em congressos brasileiros, sendo que eles os subdividiram nas onze grandes áreas da engenharia de produção. Dentro do âmbito deste artigo, na grande área de pesquisa operacional, apenas seis pesquisas foram encontradas, tendo como foco a programação matemática para resolução de conflitos. Já no quesito de desenvolvimento de modelos a eventos discretos, nenhum trabalho constou neste levantamento, abrindo caminho para este artigo, o qual propõe um modelamento e almeja a conquista dos objetivos já descritos.

Da metodologia utilizada para esta pesquisa, a que melhor representa a busca pelos objetivos propostos é a de modelagem e simulação, que tem por propósito, segundo Miguel *et al.* (2010), aprimorar o conhecimento do sistema, aperfeiçoar o desempenho, testar novos conceitos antes de implementá-los e obter informações sem incomodar o sistema.

Como contribuição científica, espera-se, por meio deste trabalho, que haja contribuição a futuros trabalhos desta linha de pesquisa, oferecendo uma visão sobre a metodologia aplicada em um ambiente de manufatura calçadista, até então pouco explorada. Também espera-se fomentar trabalhos visando a melhoria deste setor, seja nos indicadores *lead time* e estoque intermediário aqui propostos, ou em outros de relevância para a indústria calçadista.

A estrutura do trabalho conta, para seus fins, com uma pequena revisão acerca de simulação a eventos discretos em conjunto com método para a modelagem e simulação do objeto de estudo. Após, dá-se uma visão geral da empresa e modela-se o ambiente. Por fim, simula-se e apresentam-se os resultados de acordo com o objetivo do estudo.

## 2. Simulação a eventos discretos – Teoria e método

Em Chwif e Medina (2007), os sistemas reais, geralmente, apresentam maior complexidade devida a sua natureza dinâmica (mudança de seu estado ao longo do tempo) e a sua natureza aleatória (regida por variáveis aleatórias), podendo ser representados, de forma simplificada, por meio de modelos. Tais modelos podem ser simbólicos, icônicos, matemáticos e de simulação.

A simulação, assim como os demais tipos de arquétipos, pode ser definida sendo a imitação de um processo ou sistema real por meio de um modelo computacional, para avaliação e melhoria de seu desempenho (FREITAS FILHO, 2001; HARREL *et al.*, 2000). O modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições de contorno.

Para Pereira (2000), as vantagens trazidas pela simulação é a de se poder visualizar o sistema, implementar mudanças e responder a questões do tipo: "o que aconteceria se" (what-if), reduzindo gastos desnecessários e tempo quando em comparação a uma análise no ambiente real. Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) corroboram com a afirmação enfatizando que as vantagens da simulação estão no fato de se poder compreender, manipular e verificar o comportamento do sistema, objeto de estudo, de forma segura e a custos bem inferiores aos que seriam necessários em análises com modificações no sistema produtivo real.

Especificamente, para ambientes manufatureiros, a maior vantagem da utilização da simulação é a possibilidade de obter uma visão geral do efeito de uma pequena mudança no sistema (XAVIER, *et al.*, 2010). Aumento de produtividade, redução do tempo que as peças ficam no sistema, redução dos estoques em processo, aumento das taxas de utilização de equipamentos e funcionários, aumento de entregas no tempo certo dos produtos aos clientes, redução das necessidades de capital e garantia de que o projeto do sistema proposto vai operar conforme o esperado são alguns dos benefícios listados por esses autores.

Basicamente, o desenvolvimento de um modelo de simulação compõe-se de três grandes etapas, a saber: concepção ou formulação do modelo; implantação do modelo; e análise dos resultados do modelo (CHWIF e MEDINA, 2007).

Na primeira etapa, de concepção, o analista de simulação deve entender claramente o sistema a ser simulado e os seus objetivos, através da discussão do problema com especialistas. Deve-se decidir com clareza qual será o escopo do modelo, suas hipóteses e o seu nível de detalhamento, também coletando os dados de entrada. Finalizada a etapa de concepção, o modelo teórico deve ser ilustrado de acordo com alguma técnica de representação de modelos de simulação, a fim de torná-lo um modelo conceitual de modo que outras pessoas envolvidas no projeto possam entendê-lo.

Na segunda etapa, implantação, o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional através de alguma linguagem de simulação ou de um simulador comercial.

Por fim, na etapa de análise, o modelo computacional está pronto para a realização do experimento, dando origem ao modelo experimental ou modelo operacional. Nesta etapa são efetuadas várias rodadas do modelo e os resultados da simulação são analisados e documentados. A partir dos resultados, conclusões e recomendações sobre o sistema podem ser geradas. Caso necessário (se o resultado da simulação não for satisfatório), o modelo pode ser modificado, e este ciclo é reiniciado.

Tais passos estão dispostos na Figura 1 e serão a base para metodológica desta pesquisa, enfatizando a modelagem e simulação de um ambiente de produção calçadista dentro de uma pesquisa axiomática descritiva, buscando os objetivos já citados.

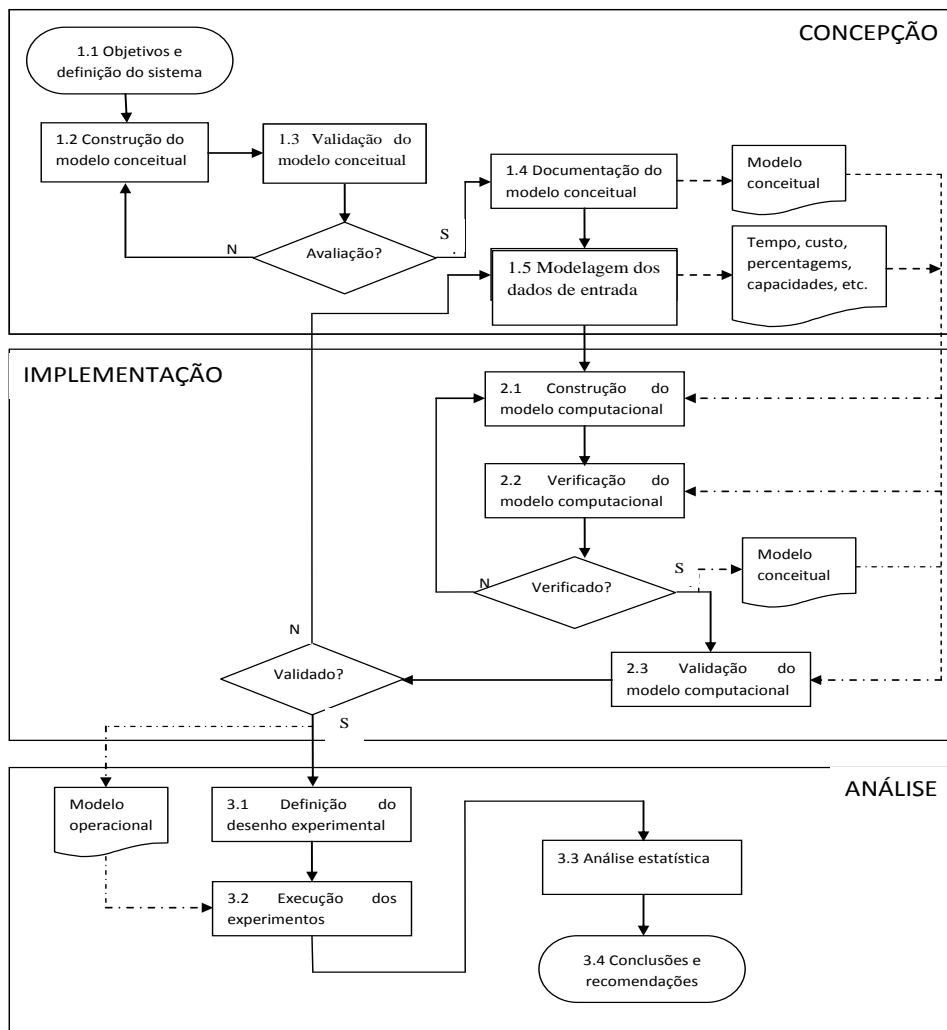


Figura 1 - Sequência de passos para um projeto de simulação

Fonte: Adaptado de Montevechi *et al.* (2010)

### 3. Descrição da empresa

A empresa estudada para análise de seus processos perante os objetivos propostos neste trabalho se encontra no interior paulista, na cidade de Franca. Ela tem cerca de 70 funcionários em seu quadro e produz, em média, 18000 pares de sapato por mês.

A firma conta com duas famílias de produtos com *mix* de 8 produtos no total, tendo apenas um cliente final que executa pedidos de compras semanais e exige também entregas semanais com prazo de duas a três semanas após o pedido, dependendo do tipo de matéria-prima exigida no produto.

As etapas do processo produtivo são: corte de matérias-primas, preparação das peças cortadas, pesponto (colagem e costura das peças) e montagem e acabamento. Dentro da empresa ainda constam o almoxarifado, o setor de qualidade com revisores intermediários e finais, a expedição e o setor de planejamento e controle. Para apoio, há o setor de administração que une as atividades de gestão, compras, vendas, departamento de pessoal e outros afins para o bom funcionamento do ambiente produtivo.

Deseja-se, com este estudo, analisar o setor produtivo como um todo, para a linha de maior vazão que tem prazo de entrega de duas semanas, se há a possibilidade de entrega dentro deste prazo por análise de *lead time* e se o espaço destinado a estoques intermediários é adequado.

## 4. Modelagem

A pesquisa usufruiu-se das características apresentadas da simulação a eventos discretos e modelou o sistema de fabricação de calçados da empresa em questão de forma a obter os objetivos almejados. Para tanto, separou o estudo nas três fases propostas por Montevechi *et al.* (2010), sendo descritas nos subtópicos 4.1, 4.2 e 4.3.

### 4.1. Fase de Concepção

Para a realização desta primeira etapa do estudo, observações diretas dos autores foram executadas, descendo os processos internos da empresa e computando alguns dados relativos à mesma.

Descrevendo o contexto do fluxo produtivo encontrado, tem-se: as matérias-primas chegam ao almoxarifado da empresa e são encaminhadas para o setor de corte em lotes de acordo com a programação de produção e as quantidades requeridas de cada uma; no setor de corte, há dois processos para os materiais, sendo um de prensas hidráulicas manuais para materiais naturais, como couros e raspas de couro, e outro de prensas hidráulicas de ponte, para materiais sintéticos, como espumas e forros; após o corte das peças, as mesmas vão para o setor de preparação, onde há o chanfro dos lados onde serão sobrepostos e testes de peças sob pressão, principalmente dos materiais naturais; concluído esta etapa, há um estoque de lotes já cortados sendo que o abastecedor da próxima etapa vem pegar e separar em fichas de produção reduzidas; com as peças separadas, o abastecedor as insere na esteira de pesponto, na onde há as tarefas de colagem e costura das peças resultando em cabedais ao fim do processo; cada cabedal é revisado e, caso esteja bom, segue para um estoque de cabedais ou, caso esteja ruim, volta para o início da esteira para retrabalhos; o abastecedor da esteira de montagem e acabamento vem ao estoque de cabedais e separa as fichas para execução no próximo setor; a esteira de montagem e acabamento vai finalizar o sapato, moldando a sua forma característica, inserindo solado e executando o acabamento geral do produto, resultando em sapato acabado; cada sapato acabado é revisado e segue para o estoque final, caso esteja bom, ou retorna a esteira de montagem, caso necessite de correções; do estoque final, de acordo com os pedidos de expedição, cada sapato acabado é embalado e expedido para os clientes.

Para validação desta abstração, os autores encaminharam o esboço para o gerente geral da empresa e para o especialista do setor que fizeram adequações e inseriram os transportes necessários dentro da empresa dos produtos em fabricação, além do número de funcionários de cada setor. Todo o processo descrito e corrigido está mapeado segundo a técnica IDEF-SIM, na Figura 2. Tal técnica de mapeamento de processos é caracterizada por ser voltada, em sua origem, para a modelagem de sistemas, já contando com símbolos próprios, conforme dissertado por Leal (2008).

Após a construção e validação do modelo conceitual, modelam-se os dados de entrada para inserção dos mesmos no estudo simulado. Utilizou-se, para tanto, o histórico da empresa, contudo, a firma trabalha por tempos padrões para suas atividades e não por dados probabilísticos, sendo que estes representam melhor a realidade (KELTON, 2009).

Analisando e transpassando os dados fornecidos para o formato estocástico, conseguiu-se obter a média e o desvio padrão. Testaram-se os dados a questão para averiguação de sua normalidade e encontrou-se o erro relativo com relação ao número de dados amostrais. A Tabela 1 os dados retirados do histórico da empresa e a Tabela 2 apresenta o tratamento deles, sendo que as equações de 1 a 3 demonstram os equacionamentos para cada coluna em destaque, utilizando por base os estudos de Montgomery (2001) – a exceção se faz a respeito do tempo padrão que é dado pelo acréscimo de 10% no tempo médio, segundo parâmetros da empresa.

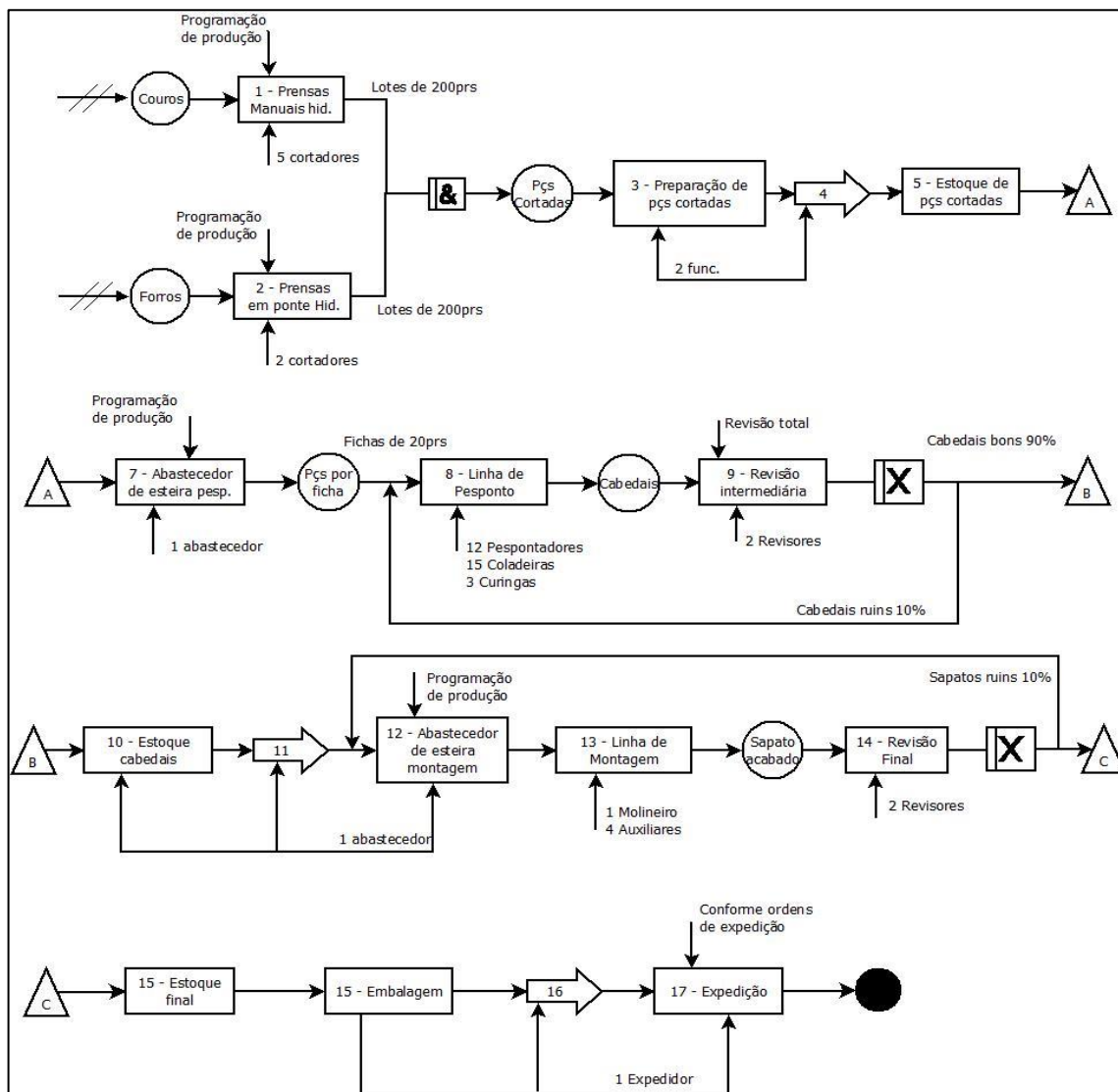


Figura 2 - IDEF-SIM dos processos para fabricação do calçado

Tabela 1 - Tempos históricos coletados para cada atividade

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Corte Couro</b>	1,23	1,23	1,20	1,25	1,26	1,20	1,24	1,17	1,32	1,21	1,23	1,18
<b>Corte Forro</b>	0,36	0,36	0,35	0,34	0,35	0,34	0,33	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33
<b>Preparação Corte</b>	2,44	2,43	2,51	2,47	2,47	2,44	2,44	2,47	2,46	2,48	2,40	2,46
<b>Abastecedor pesponto</b>	0,32	0,33	0,32	0,33	0,34	0,32	0,33	0,31	0,33	0,32	0,34	0,32
<b>Pesponto</b>	26,36	25,31	26,38	24,08	26,41	25,53	24,28	25,89	26,92	25,61	24,79	26,01
<b>Revisão intermediária</b>	0,72	0,76	0,71	0,67	0,72	0,74	0,74	0,68	0,74	0,71	0,76	0,68
<b>Abastecedor montagem</b>	0,27	0,27	0,28	0,29	0,26	0,26	0,28	0,27	0,28	0,27	0,27	0,27
<b>Linha de Montagem</b>	12,47	12,72	11,49	11,21	11,96	12,63	12,08	12,19	11,71	11,89	12,53	12,45
<b>Revisão final</b>	0,79	0,79	0,79	0,79	0,81	0,81	0,79	0,74	0,78	0,75	0,83	0,78
<b>Embalagem</b>	0,27	0,26	0,27	0,26	0,27	0,26	0,26	0,27	0,25	0,26	0,26	0,25



Tabela 2 - Tempos tratados estatisticamente

	Média	Desvio Padrão	Tempo padrão	Teste normal P-value*	Erro relativo
Corte Couro	1,227	0,040	1,350	0,555	1,56%
Corte Forro	0,344	0,011	0,379	0,978	1,46%
Preparação Corte**	2,455	0,029	2,700	0,725	0,57%
Abastecedor pesponto	0,323	0,009	0,356	0,489	1,34%
Pesponto***	25,630	0,885	28,193	0,537	1,65%
Revisão intermediária	0,719	0,030	0,791	0,764	1,98%
Abastecedor montagem	0,273	0,008	0,300	0,509	1,35%
Linha de Montagem	12,110	0,476	13,321	0,662	1,87%
Revisão final	0,787	0,025	0,866	0,227	1,54%
Embalagem	0,261	0,008	0,287	0,114	1,42%

\* Para o teste de normalidade utilizou-se o software Minitab®, sendo que, quando o P-value for maior do que 0,05, considera-se que a distribuição pode ser representada por uma normal.

\*\* Considerou-se o tempo de preparação para 2 unidades, devido ao maquinário existente.

\*\*\* Para o tempo de pesponto, considerou-se lote de 20 unidades trabalhadas em uma esteira com 4 estágios de produção.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{n}, \text{ onde } \begin{cases} \bar{x}: \text{média da amostra} \\ n: \text{número de amostras} \\ k: \text{tempos de cada coleta} \end{cases} \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \text{ onde } \{s: \text{desvio padrão da amostra} \quad (2)$$

$$i = \frac{z \times s}{\bar{x} \times \sqrt{n}}, \text{ onde } \begin{cases} i: \text{erro relativo} \\ z: \text{fator de confiança (1,65 para 90\% de Power)} \end{cases} \quad (3)$$

Com o modelo conceitual completo, validado e com os dados notados em distribuições normais, passa-se a construção do modelo computacional, o qual é o foco do próximo subtópico.

#### 4.2. Fase de Implantação

Utilizando o software ProModel® para o modelamento computacional, transpôs-se o modelo conceitual, mantendo as medidas de distâncias em metros e de tempo em minutos. Do layout produtivo, ele segue, aproximadamente, um sistema de quadrantes, sendo: o superior esquerdo para as funções de prensas manuais e de ponte e para preparação; o superior direito para linha de pesponto e revisão intermediária; o inferior direito para linha de montagem e revisão final; e parte do inferior esquerdo para embalagem e expedição.

A construção do modelo seguiu as seguintes etapas de programação:

I. **Criação de Locais** – a partir das funções determinadas no modelo conceitual (Figura 2), os locais foram criados, sendo eles: as prensas manuais e de ponte (considerando os recursos informados); a preparação (considerando os recursos informados); o estoque de peças cortadas (o qual se quer determinar o tamanho); a linha de pesponto (com 4 estágios de produção para cada lote); a revisão intermediária; o estoque de cabedais (o qual se quer determinar o tamanho); a linha de montagem; a revisão final; o estoque final (o qual se quer determinar o tamanho); e a embalagem e expedição, sendo a expedição com capacidade de 20 unidades, visto que com esta quantidade fecha-se um *pallet* de embarque.

- i. Na linha de pesponto, por ser caracterizada como produção seriada, dever-se-ia lançar as sequências de operações e conectá-las de acordo com o processo.

Porém, como não há tempos aferidos atividade a atividade, somente o número de estágios e o tempo de processamento total, utiliza-se o recurso de gerar mais unidades da linha de pesponto, no total de quatro, com cada uma tendo o tempo total agregado a si, considerando capacidade única.

- ii. Para a linha de montagem, o mesmo problema da linha de pesponto foi averiguado, contudo, para sua resolução, seria-se necessário a criação de 30 locais para a produção, visto que esta é a capacidade da linha, o que sobrecarregaria o simulador. Para solução deste problema, acumulam-se dez cabedais (número de atividades do setor), produz-se na linha de montagem e desvincula-se em 10 sapatos prontos para o próximo setor.

II. **Criação das Entidades** – a partir das entidades da Figura 2, criaram-se as entidades do modelo computacional, sendo elas: couros; forros; peças cortadas; peças por fichas; cabedais; e sapato acabado.

III. **Criação de chegadas** – há duas chegadas ao sistema, uma para a entidade couro e outra para a entidade forro. Como a produção média é de 900 pares por dia e todos os materiais para sua produção serão considerados disponíveis, haverá apenas uma ocorrência de chegada de cada um destes na quantidade de 900 unidades para a produção ao longo do dia. Para o armazenamento destas chegadas, criaram-se dois almoxarifados com as capacidades de ambas, antes dos processos de corte.

IV. **Criação de variáveis** – para a constatação numérica acerca dos objetivos, algumas variáveis de controle devem ser criadas, sendo elas: contador de estoque de peças cortadas; contador de estoque de cabedais; contador de estoque de sapatos prontos; e lead time de produção.

V. **Criação de redes de caminhos** – com base nas constatações com os especialistas e visualização do processo pelos pesquisadores, os recursos que devem ser considerados no sistema são os abastecedores e o expedidor, visto que há deslocamento de produtos efetuado pelos mesmos. Para tanto, as redes de caminhos deles devem criadas no simulador, sendo elas: Rede 1 (para abastecimento da linha de pesponto); Rede 2 (para abastecimento da linha de montagem); e Rede 3 (para deslocamento dos produtos acabados para embalagem e expedição). As distâncias de cada caminho são, conforme observação *in loco* de, respectivamente, 7m, 8m e 4m para as redes 1, 2 e 3 e suas interfaces com os locais de acordo com o modelo conceitual.

VI. **Criação dos recursos** – conforme já dito em redes de caminhos, os recursos considerados são os abastecedores e o expedidor.

VII. **Criação dos processos** – com todos os itens criados, programam-se os processos de acordo com o modelo conceitual tratado na Figura 2 e os objetivos indicados, sendo que a lógica para cada local foi desenvolvida de acordo com os parâmetros do software utilizado.

VIII. **Criação do tempo de simulação** – de acordo com a proposta deste artigo, não há motivos para consideração do turno de trabalho dos recursos. Contudo, será considerado um tempo de simulação para o período de um mês, ou seja, de 196 horas. Com isto, as entradas, para não influenciarem nos resultados a serem coletados, passam a ter frequência alta por tempo infinito. Considerou-se ainda um tempo de 2h para que o processo estivesse “cheio”, ou seja, com todas as funções em regime de trabalho, para coleta efetiva dos dados requeridos.

Observa-se que, para os objetivos deste trabalho, a visualização do maquinário e das funções específicas não se faz útil, portanto, para a parte gráfica do modelo, utilizou-se a biblioteca comum do software. A Figura 3 ilustra como o *layout* no software foi construído.



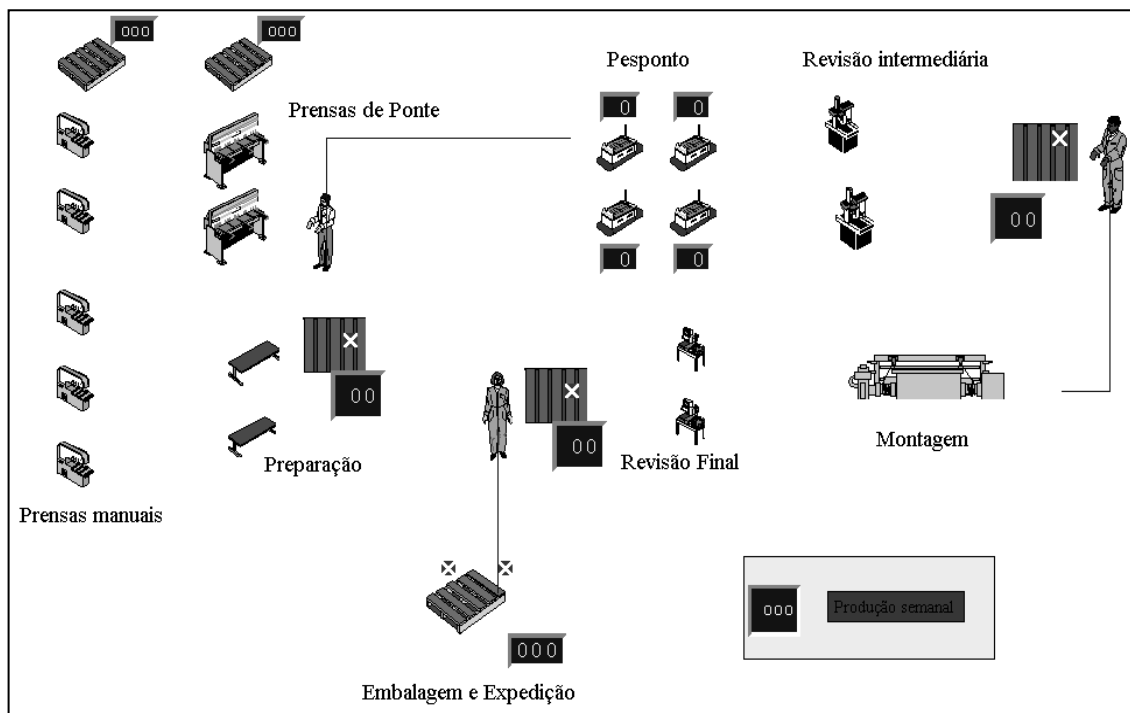


Figura 3 - Layout modelado

Para validação do modelo computacional, analisaram-se as produções de 10 dias úteis e executaram-se testes estatísticos de hipótese. Para tanto, o tempo de simulação passou a ser diário, ou seja, de 8,8 horas mais duas horas para entrar em regime. A Tabela 3 apresenta os dados da produção real e simulada e a Figura 4 os dados obtidos pelo software Minitab® para Teste de hipótese *Paired t* com hipótese alternativa diferente de 0. De acordo com Montgomery (2001), como o *P-value* foi maior do que 0,05, ambas as linhas são iguais estatisticamente, validando o modelo virtual.

Tabela 3 - Comparação produção real com produção simulada

	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
Produção Real	920	960	880	960	840	800	780	840	880	860
Produção Simulada	880	880	880	880	880	880	880	880	860	880

Paired T-Test and CI: Real; Virtual				
Paired T for Real - Virtual				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Real	10	872,000	61,246	19,368
Virtual	10	878,000	6,325	2,000
Difference	10	-6,00000	61,86006	19,56187
95% CI for mean difference: (-50,25202; 38,25202)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -0,31 P-Value = 0,766				

Figura 4 - Teste de hipótese para os dados de produção real e simulada

### 5.3. Fase de Análise

Na fase de análise, o foco será analisar se os objetivos do trabalho foram atingidos e tecer alguns comentários sobre os resultados da simulação. Iniciou-se pelo estudo do *lead time* de

produção. Ao se replicar a simulação constata-se que as variações dos tempos de processos ficaram dentro das variações estatísticas normais, obtendo assim, valores considerados corretos pelos pesquisadores. Lembra-se aqui que o *software* utilizado propõe valores máximos, mínimos e médios para o objetivo em questão, sendo que para as considerações, foram utilizados os valores médios condizentes com a análise de normalidade ilustrada na Figura 5, onde se tem a média dos tempos em 5399,5 minutos.

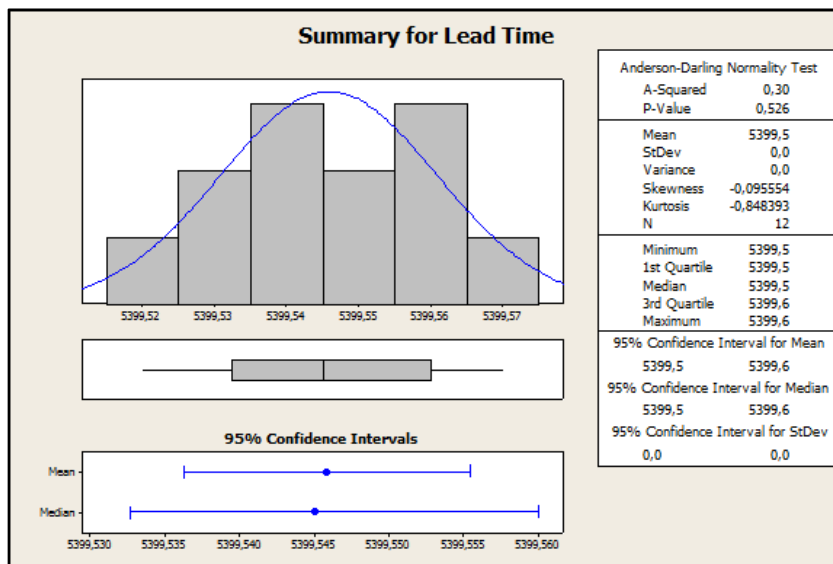


Figura 5 - Ajuste das médias do lead time

Analisando os estoques, o modelo conceitual e, por conseguinte, o computacional, prevê três estoques principais, sendo que dois deles são críticos, pois além de representar capital parado, demandariam uma área muito grande dentro do processo produtivo. O estoque de produtos acabados não foi analisado nesse contexto visto que o pátio da empresa era grande o suficiente para armazenar os mesmos. Encontra-se aqui a grande dificuldade, a qual era dimensionar a área de estocagem dentro do processo produtivo.

Sendo assim temos dois estoques a analisar, o estoque de peças cortadas e o estoque de cabedais. O resultado, pelo *software* ProModel®, forneceu dados de estoques de acordo com cada replicação executada.

Para efeito de cálculo de área, utilizou-se o estoque máximo medido em um mês de produção (período no qual foi simulada cada réplica) e não valores médios como no caso do *Lead Time*. Com essa alteração, considera-se o limite máximo de área utilizada destinada para cada tipo de estoque. Também se considerou a questão de empilhamento, onde para peças cortadas, poderiam ser alocados 20 conjuntos e para cabedais, 10 conjuntos.

Por meio destes argumentos, pode-se estipular a área a ser separada para estoque, onde se encontrou os números de 3m<sup>2</sup> para peças cortadas e de 7,5m<sup>2</sup> para cabedais, aproximadamente.

É preciso ressaltar, contudo, que o valor do estoque de cabedais é muito alto e merece uma análise mais cuidadosa. Ao se visualizar novamente a Tabela 1 com os tempos medidos, pode-se reparar que o tempo de montagem é, em média, 12,11 minutos, uma média alta se comprada aos demais processos. Provavelmente, por este processo utilizar maior tempo e ter capacidade limitada, causa o aumento no estoque de cabedais com o passar do tempo. A empresa, por consequência, deve tomar alguma ação com relação a essa situação se não quiser ver seus níveis de estoque subam ainda mais.

Por fim, pode-se analisar a capacidade produtiva do período simulado, os quais o simulador também apresenta dados. Novamente, trabalha-se com o valor máximo produzido em cada réplica e observa-se o valor máximo de produção de cerca de 8100 pares por mês, os quais estão de acordo com as previsões reais da empresa.

Algumas outras considerações podem ser elaboradas pela visualização da simulação via software:

- Os locais de Preparação encontram-se sempre cheios, isso se deve a configuração de chegada de matérias-primas. Considerou-se, para que não haja falta de materiais na fabrica, os mesmos chegam com uma frequência alta por tempo infinito, por isso os processos de preparação nunca ficam ociosos, visto que os processos de corte (prensas) não são gargalos do processo e possuem tempos de execução relativamente curtos.
- O fato anterior, de a preparação estar sempre cheia causa um bloqueio nos processos de corte anteriores, já que não há estoques intermediários entre o processo de corte e o de preparação. Por isso os processos de corte envolvendo prensas se encontram altamente bloqueados.
- O processo de Pesponto fica muito pouco tempo ocioso. Para explicar tal fenômeno, destaca-se a importância dos estoques intermediários, funcionando como um pulmão na planta para dificultar a falta de matéria-prima nos processos. Ele se encontra boa parte do tempo bloqueado e uma justificativa para isso seria a revisão intermediária. É conhecido do processo real que as revisões têm capacidade limitada e funcionam como um gargalo, limitando a capacidade do processo. Seria interessante rever a capacidade do processo de revisão para aumentar a capacidade da linha em trabalhos futuros.

## 6. Conclusões

Relembrando os objetivos desta pesquisa, a mesma buscou dimensionar os estoques intermediários de um processo produtivos em manufatura calçadista, bem como analisar o *lead time* de produção. Para atingir tal meta, utilizou-se o artifício de modelagem computacional a eventos discretos, visto que a literatura (CHWIF e MEDINA, 2007; KELTON, SADOWSKI E STURROCK, 2007; MONTEVECHI, 2010) apresenta um consenso em aplicações em ambiente dinâmico.

Do objeto de estudo, nota-se, segundo Godinho Filho, Fernandes e Lima (2009) que há pouca pesquisa envolvida na área calçadista, sendo que, com o foco em pesquisa operacional, tornam-se ainda mais raros os casos. Com tal justificativa, este estudo foi realizado visando a obtenção dos objetivos propostos.

Após as fases descritas por Montevechi (2010) – concepção, implementação e análise – os resultados foram coletados via simulador computacional e apresentados no contexto do trabalho. Considerações foram feitas e a pesquisa deve agora passar para a aplicação prática ou elaboração de melhorias a serem visualizadas no simulador em caráter de testes.

Como sugestões de inclusão neste trabalho ou para trabalhos futuros no setor calçadista, a utilização de outras ferramentas para gestão, como *Lean Production*, e melhorias, como *Design of Experiments* ou mesmo outros estilos de mapeamento pode vir a trazer resultados positivos. Também é notório o fato de averiguação de *layouts* produtivos para cada tipo de empresa e de demanda, auxiliando na melhoria dos dois indicadores aqui trabalhados.

Por fim, a simulação mostrou-se uma ferramenta útil na visualização e no julgamento de fatores produtivos em busca de objetivos pré-determinados, desde que seguindo um método ou lógica de execução.

## 7. Referências

- BAMFORD, D. G.; LAND, N. The application and use of the PAF quality costing model within a gootwear company. **International Journal of quality & reability management**, v. 23, n. 3, p. 265-278, 2006.
- CHWIF, L.; MEDINA, A.C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. 2. Ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2007.

- FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena**. Florianópolis: Visual Books, 2001.
- GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F.; LIMA, A. D. Pesquisa em Gestão da produção na indústria de calçados: revisão, classificação e análise. **Revista Gestão e Produção**, v. 6, n. 2, p. 163-186, 2009.
- HARREL, C. R.; GHOSH, B. K. & BOWDEN, R. **Simulation using ProModel®**. New York: McGraw-Hill, 2000.
- KELTON, W. D. Representing and generating uncertainty effectively. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2009. **Anais do WSC 2009**.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. **Simulation with Arena**. 4. Ed. New York: McGraw-Hill, 2007.
- LEAL, F. **Análise do efeito interativo de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados**. Tese (Doutorado) – Engenharia Mecânica, UNESP, Guaratinguetá, 2008. 237p.
- MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; TURRIONI, J. B.; LEE HO, L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MONTEVECHI, J. A. B.; COSTA, R. F. S.; LEAL, F.; PINHO, A. F. Economic Evaluation of scenarios for manufacturing systems using discrete event simulation based experiments. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**. v. 7, n. 1, p. 77-103, 2010.
- MONTGOMERY, Douglas C. **Design and Analysis of Experiments**. 5. Ed. Arizona: Arizona State University, 2001.
- ORSINI, Flávio E. **Análise da mudança do arranjo físico de uma empresa de calçados de segurança**. TCC (Graduação), Engenharia de Produção, Universidade de Franca, Franca/SP, 2010.
- PEREIRA, I. C. **Proposta de sistematização da simulação para fabricação em lotes**. Dissertação (Mestrado), Engenharia de produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá/MG, 2000.
- SILVA, Fábio M.; FERNANDES, F. C. F. Proposta de um sistema de controle da produção para fabricantes de calçados que operam sob encomenda. **Revista Gestão e Produção**, v.15, n. 3, p. 523-538, 2008.
- SOUTO JUNIOR, A. K. D.; LOCH, G. V.; MOITA, M. H. V. Simulação computacional para o auxílio à tomada de decisão: um estudo de caso na indústria de aparelhos eletrônicos no pólo industrial de Manaus. **Revista Ingepro – Inovação, Gestão e Produção**, v. 2, n. 5, 2010. Disponível em: <http://ojs.ingepro.com.br/index.php/ingepro/article/view/198>. Acesso em: 06 Nov. 2011.
- XAVIER, A. F.; GOMES, J. H. F.; DELALIBERA, P. H. A.; PINHO, A. F.; MONTEVECHI, J. A. B. A simulação a eventos discretos como ferramenta de tomada de decisão na implementação de uma linha de montagem em uma indústria do setor automobilístico. **Revista Ingepro – Inovação, Gestão e Produção**, v. 2, n. 5, 2010. Disponível em: <http://ojs.ingepro.com.br/index.php/ingepro/article/view/198>. Acesso em: 06 Nov. 2011.