

# MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM UMA EMPRESA DE CONFECÇÃO DE ROUPAS: UM ESTUDO SOBRE O DESEMPENHO DE UM PROCESSO PRODUTIVO

**Hilario Gomes Neto (UFCG)**  
hilariopb@hotmail.com

**Josenildo Brito de Oliveira (UFCG)**  
josenildo\_brito@yahoo.com.br

**Cyntia Rachel Fernandes de Andrade (UEPB)**  
rachell\_andrade@hotmail.com



*A modelagem e simulação tem sido usada em diversas áreas com o objetivo de compreender processos e sistemas, simular cenários, otimizar variáveis, identificar gargalos, dentre outros usos. Nesse sentido, o objetivo deste artigo é compreender e avaliar a operação do sistema produtivo de uma empresa utilizando-se como ferramenta central a modelagem e simulação da produção. A pesquisa desenvolvida no artigo foi classificada como aplicada, quantitativa e exploratória e descritiva. Os procedimentos técnicos se limitaram a pesquisas bibliográficas, pesquisa experimental, levantamento de dados em campo e estudo de caso. Foram realizadas entrevistas e observações em torno do objeto de estudo. O levantamento de dados se deu em uma empresa especializada na fabricação de confecções estabelecida na cidade de Campina Grande (PB). O método de pesquisa utilizado neste trabalho foi o da modelagem e simulação com aplicações no software ARENA. Os resultados mostraram que o processo de produção no setor de costura encontra-se desbalanceado, com capacidades muito ociosas. Sugere-se o nivelamento da produção, adequação do layout e capacitação polivalente dos operadores como forma de equilibrar a relação produção/capacidade/demanda.*

*Palavras-chaves: Simulação computacional, empresa de confecção, desempenho*

## 1. Introdução

A modelagem e simulação tem sido usada em diversas áreas com o objetivo de compreender processos e sistemas, simular cenários, otimizar variáveis, identificar gargalos, dentre outros usos. Observa-se que as aplicações são diversas, tais como: operações logísticas em portos e aeroportos; bancos; cadeias logísticas; centrais de atendimento; hospitais; cadeias de *fast food*, parques de diversões; supermercados e manufatura (PRADO, 2010). No tocante à manufatura, as aplicações da modelagem e simulação compreendem linhas de montagem, sistemas de movimentação e armazenagem de materiais, programação da produção, análise de estoques, sistemas *Kanban*, entre outras.

A modelagem refere-se ao processo de representar, de maneira simplificada, um recorte da realidade (objeto de estudo) associado a um determinado sistema de interesse (GARCIA, 2002). Portanto, um modelo é a forma sistemática como um observador representa um sistema. Os modelos de simulação são usados para capturar o comportamento do sistema através de técnicas computacionais. A simulação é para Kelton, Saldowski e Saldowski (1998) uma gama variada de métodos e aplicações que o reproduzem comportamento de sistemas reais, usualmente utilizando-se de ferramentas computacionais.

As vantagens da simulação são diversas, tais como: maior facilidade de aplicação do que os métodos analíticos; identificação de gargalos no sistema, compreensão das variáveis mais importantes do sistema, melhoria no processo decisório, avaliação de um sistema proposto, dentre outras (FREITAS FILHO, 2008). Assim, esta pesquisa se justifica pela necessidade de compreender melhor o funcionamento do processo produtivo da empresa objeto de estudo e sendo o caso, propor melhorias para os problemas detectados. Outra justificativa refere-se à possibilidade de identificação de gargalos no sistema e possivelmente necessidades futuras de estruturação do *layout* da fábrica.

O problema de pesquisa está associado à compreensão do funcionamento do sistema para que os gestores possam tomar decisões mais adequadas para aumentar a produtividade e racionalizar os recursos. Portanto, o problema desta pesquisa buscou responder a seguinte questão: quais melhorias podem ser sugeridas com base na modelagem e simulação de um processo de confecção de roupas em uma indústria na cidade de Campina Grande (PB)?

Para solucionar a problemática da pesquisa, definiu-se como objetivo central do trabalho: compreender e avaliar a operação do sistema produtivo da empresa alvo do estudo com base na modelagem e simulação da produção.

## 2. Modelagem

O processo de modelar parte da premissa de representar, de forma simplificada e por vezes simbólica, um fenômeno ou objeto. Um modelo pode ser definido como uma representação das relações dos componentes de um sistema, sendo considerada como uma abstração, no sentido em que tende a se aproximar do verdadeiro comportamento do sistema (CHWIF e MEDINA, 2010).

Os modelos podem ser classificados como: simbólicos, matemáticos e de simulação. Os modelos simbólicos são aqueles que podem ser representados graficamente por algum tipo de recurso, como por exemplo, as maquetes, um fluxograma de processo, um protótipo, entre outros. Os modelos matemáticos são aqueles que apresentam bases matemáticas ou mesmo estatísticas, como por exemplo, o modelo de filas. Por fim, um modelo de simulação captura o comportamento do sistema real com uma maior precisão, buscando reproduzir computacionalmente o mesmo comportamento que o sistema apresentaria se submetido às mesmas condições (FREITAS FILHO, 2008; CHWIF e MEDINA, 2010).

O modelo de simulação permite, segundo Freitas Filho (2008), a análise pela sentença “o que ocorre se”. É capaz de representar sistemas complexos de natureza dinâmica e aleatória, podendo ser de difícil construção. O modelo de simulação permite, segundo mesmo autor, alterar as variáveis ou parâmetros do sistema. O custo de simular uma situação em um modelo é muito menor do que realizar um experimento no sistema real. Pode também ser usado como uma ferramenta de aprendizado (jogos de empresas). O modelo de simulação é baseado genericamente na modelagem de sistemas que são dinâmicos, aleatórios e discretos, conforme quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de sistemas

Sistema	Conceito
Dinâmico	As variáveis de estado que representa o modelo se modificam na em medida em que o sistema evolui.
Aleatório	Os possíveis estados das variáveis podem ser descritos, mas não predeterminados.
Discreto	As mudanças de estado ocorrem em pontos discretos no tempo e não de forma contínua.

Fonte: Adaptado de Freitas Filho (2008)

A modelagem, antes de se transformar em modelo computacional, pode ser realizada por meio de *softwares* gráficos, usando-se, por exemplo, mapofluxogramas, fluxogramas, dentre outras ferramentas de apoio. As formulações do problema e do objetivo são aspectos centrais na modelagem.

### 3. A simulação

A simulação abrange o uso de técnicas computacionais para simular, por meio de modelo, o comportamento aproximado do sistema real de interesse. É o processo de elaboração de um modelo de um sistema real (ou hipotético) e a condução de experimentos com a finalidade de entender o comportamento de um sistema ou avaliar sua operação (SHANNON, 1975). Já Melão e Pidd (2000) afirmam que especialistas constroem modelos e elaboram programas para reproduzir o comportamento do sistema e submetê-lo a diversas políticas operacionais. Neste caso opta-se pela melhor alternativa.

As razões que justificam a simulação são dadas por Chwif e Medina (2010), quais sejam: permite à análise de um novo sistema antes de sua implantação; melhora a operação de um sistema já existente; possibilita a melhor compreensão do funcionamento de um sistema; permite o confronto de resultados e medição de eficiências. A simulação, para Freitas Filho (2008), apresenta vantagens relevantes: o modelo pode ser utilizado várias vezes; avaliação do sistema; teste de hipótese; gestão do tempo e reprodução do evento, dentre outras.

### 4. O processo de modelagem e simulação

Diversas são as metodologias usadas para viabilizar a construção da modelagem e simulação de um sistema. Freitas Filho (2008) aborda: formulação e análise do problema; planejamento do projeto; formulação do modelo conceitual; coleta de informações e dados; tradução do modelo; verificação e validação; projeto experimental final; experimentação; interpretação e análise de resultados; comparação de sistemas e soluções; documentação; apresentação dos resultados e implantação. No trabalho, a metodologia usada foi a de Chwif e Medina (2010), que dividem a modelagem e simulação em seis etapas, conforme Quadro 2 na sequência.

Quadro 2 – Metodologia da modelagem e simulação

Sistema	Conceito
Formulação	São definidos o problema e objetivos da modelagem. Nesta etapa o modelo abstrato deve ser construído com base na observação do sistema
Representação	Etapa de construção do modelo conceitual baseado no uso da modelagem simbólica. Nesta fase os dados do sistema real devem ser coletados.
Implantação	O modelo conceitual é convertido em modelo computacional e implantado no programa usado na simulação, sendo executado de acordo com parâmetros definidos.
Verificação e	A verificação trata de assegurar que o modelo conceitual foi transformado no modelo

Validação	computacional com a devida precisão. A validação refere-se à consistência do modelo computacional em se aproximar do comportamento desejado do sistema real
Experimentação	O modelo computacional, agora modelo operacional é analisado quanto às variáveis. Cenários e análises de sensibilidade podem ser testados para se encontrar a melhor solução.
Análise	Nesta etapa os resultados são analisados de acordo com os objetivos propostos. O relatório é confeccionado e se for o caso o modelo poderá ser redefinido.

Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2010)

## 5. Aspectos metodológicos

A pesquisa realizada neste artigo foi classificada da seguinte forma (SILVA e MENEZES, 2005): quanto aos objetivos a pesquisa é aplicada, pois houve a modelagem, a coleta de dados em campo e simulação experimental do modelo computacional; quanto à abordagem do problema a pesquisa foi definida como quantitativa, pois o modelo computacional foi alimentado com dados que sofreram tratamento estatístico e responderam pela operação da simulação; quanto aos objetivos a pesquisa foi classificada como exploratória e descritiva.

Os procedimentos técnicos se limitaram a pesquisas bibliográficas, pesquisa experimental, levantamento de dados em campo e estudo de caso. Foram realizadas entrevistas diretas e pessoais de forma não estruturada, além de observações assistemáticas em torno do objeto de estudo. O levantamento de dados se deu em uma empresa especializada na fabricação de confecções que conta em seu quadro com cinquenta e três colaboradores e está estabelecida na cidade de Campina Grande (PB). Já o método de pesquisa utilizado neste trabalho foi o da modelagem e simulação com aplicações no *software* ARENA. O Quadro 3 na sequência esboça as principais etapas desta pesquisa e como ela foi operacionalizada em termos ferramentas.

Quadro 3 – Procedimentos usados na pesquisa

Etapas	Como?
Definição do sistema	O sistema foi observado e descrito, sendo definidos: o problema, os objetivos e as variáveis de decisão associadas ao tempo de processamento das atividades no setor de costura.
Modelo abstrato	O modelo abstrato foi concebido com base nas observações do sistema. Assim, foi rascunhado um esboço do modelo.
Modelo conceitual	O modelo conceitual foi elaborado a partir da construção do mapofluxograma e do fluxograma do processo.
Dados de entrada	A partir das bases do modelo conceitual e das variáveis do estudo, os dados foram coletados com um cronometro. Uma amostragem foi definida com base no universo pesquisado. Os dados foram tratados estatisticamente pela ferramenta INPUT ANALYZER do <i>software</i> ARENA. Foram usados testes de hipóteses, testes de aderência, dentre outros.
Modelo computacional	O modelo computacional foi desenvolvido usando a linguagem de programação do <i>software</i> ARENA, a partir dos módulos de <i>templates</i> .
Verificação e Validação	Na verificação foram utilizados recursos como o <i>debugger</i> do programa, além de recursos gráficos. Na validação usou-se especialista do sistema e análise de intervalo de confiança.

Experimentação	O modelo foi executado, gerando os resultados das variáveis centrais que serviram para analisar o sistema consoante o objetivo da modelagem proposto.
Análise	Os resultados foram analisados de acordo com a modelagem e simulação planejada. Nesta etapa também foram sugeridas proposições para melhorar o desempenho do sistema.

## 6. Apresentação e discussão dos resultados

Os resultados foram apresentados e discutidos de acordo com a metodologia proposta por Chwif e Medina (2010) e mostrados na sequência.

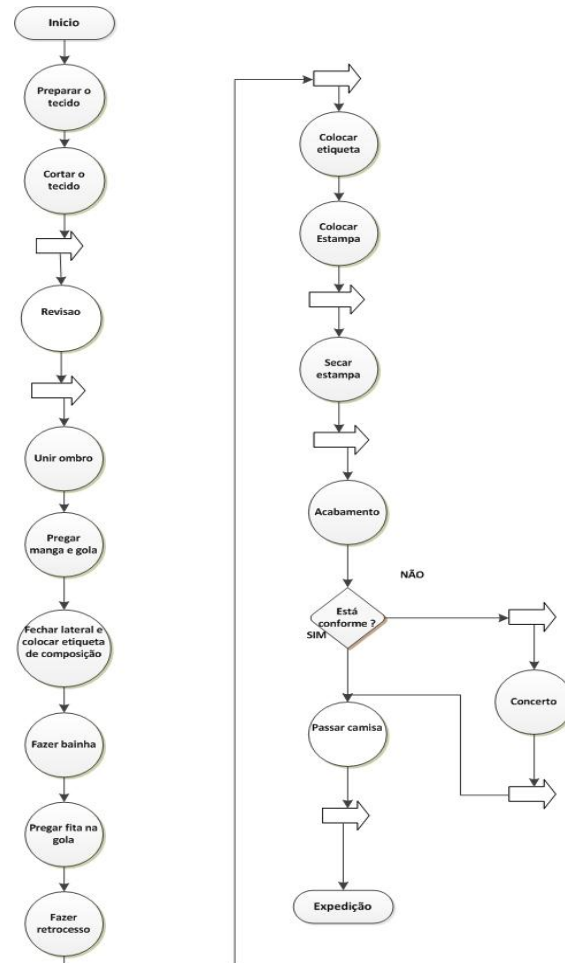
### 6.1 Definição do sistema e do objeto de estudo

O objeto de estudo estabelecido foi o processo de produção de camisas básicas ou as estampadas. Observou-se como problema que alguns setores estavam operando de maneira desbalanceada. Assim, foi definido como objetivo sugerir soluções para a problemática com base no comportamento do sistema simulado. As variáveis escolhidas para o estudo foram: número de entidades na fila; número de saída e a taxa de utilização de cada operação.

### 6.2 Construção do modelo conceitual

Com o esboço do modelo abstrato foi possível desenvolver o modelo conceitual. Para isso, buscou-se observar o processo produto da empresa e representar graficamente o processo, como mostra a Figura 1 na sequência.

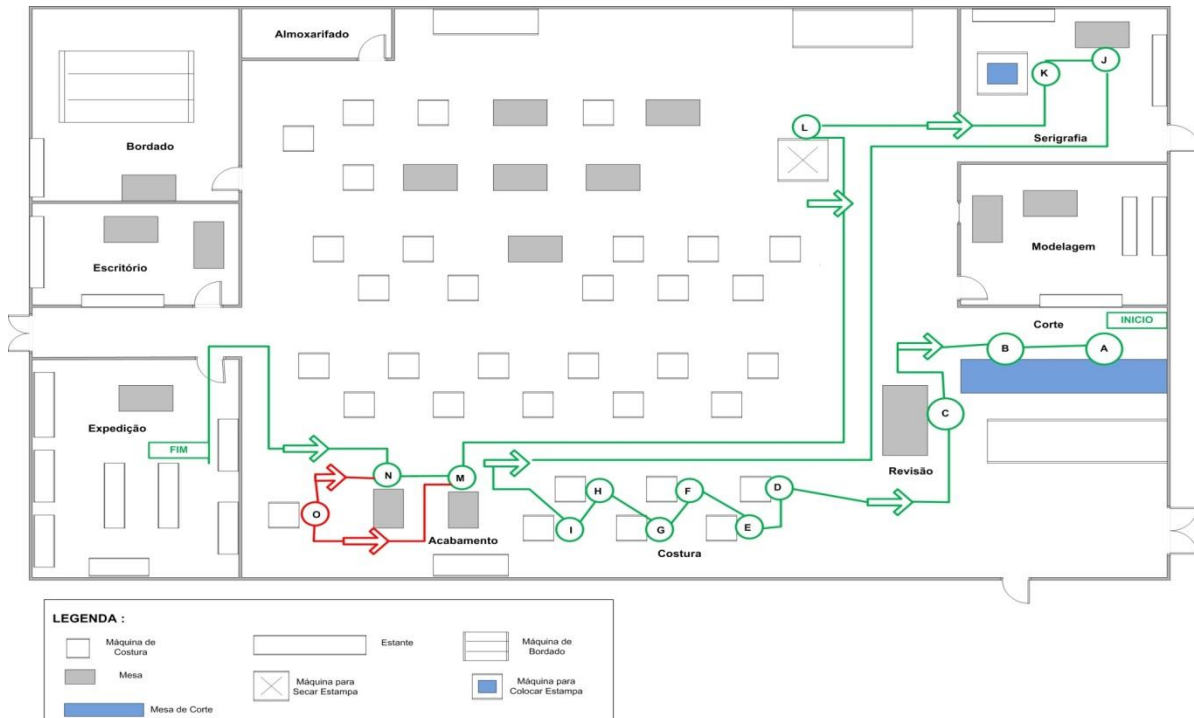
Figura 1 – Fluxograma do Processo de Produção



A Figura 1 ilustra o processo produtivo que serviu de base para a modelagem. Já a Figura 2 mostra o mapofluxograma do processo e o fluxo de produção.

Figura 2 – Mapofluxograma Processo de Produção





Assim, foi possível compreender melhor o sistema alvo do estudo de tal forma a viabilizar o processo de coleta de dados das variáveis escolhidas.

### 6.3 Construção do modelo conceitual

Os dados coletados referentes às variáveis foram amostrados e levantados em campo, de acordo com as informações pertinentes a cada uma das variáveis. Logo após, foi usado o recurso do *Input Analyzer* do *software* ARENA para fazer o tratamento estatístico, bem como identificar as distribuições de probabilidade que se aproximam do comportamento dos dados. Isso foi feito por meio dos testes de aderência.

Pela amostragem foram coletados dados referentes aos seguintes tempos de processo: TUO (Tempo Unir Ombro); TFL (Tempo Fechar Lateral); TFB (Tempo Fazer Bainha); TPF (Tempo Pregar Fita); TFR (Tempo Fazer Retrocesso); TA (Tempo de Acabamento); TPC (Tempo Passar Camisa). Outros tempos foram considerados determinísticos, ou seja, tempos constantes: tempo entre chegadas (30min), preparar o tecido (10min), colocar etiqueta (5seg), colocar estampa (15seg), secar estampa (1min). A Tabela 1 mostra as distribuições de probabilidades dos tempos e suas expressões. Essas expressões servem para gerar os tempos aleatórios na lógica de simulação do modelo computacional.

Tabela 1 – Distribuições de Probabilidade

Tempo	Expressão	Distribuição
TCT	$18 + 7 * \text{Beta} (1.29, 1.07)$	Beta





A Figura 4 ilustra a animação do modelo. Na animação é possível visualizar as entidades percorrendo seu caminho no modelo, através dos conectores existentes entre as atividades da confecção de camisas. Na animação é ilustrado o *layout* do processo. O *layout* foi elaborado com o auxílio do *software* MS VISIO.

Figura 4 – Animação do modelo



A execução do modelo foi realizada com dez replicações. O período simulado da produção foi de 09 horas. A unidade de medida, em termos de tempo, foi definida em minutos.

### 6.5 Verificação e validação do modelo

A verificação da modelagem e simulação foi feita utilizando o recurso *debugger* do *software* ARENA para identificar a existência ou não de algum erro e também confrontando o sistema real com o simulado. A validação do modelo deu-se por meio da apresentação da animação para os gestores e colaboradores do chão de fábrica, para que eles julgassem se o sistema simulado funciona, tal qual o sistema real. Assim, o modelo correspondeu à realidade do comportamento do processo produtivo real.

### 6.6 Análise das variáveis

O tempo total da simulação de confecção de camisas foi de 540 minutos, pois equivale a um dia de trabalho com duração de 9 horas, tendo o início às 07h30min e término às 16h30min com um intervalo de 1h para o almoço das 11h30min às 12h30min. Foram analisadas as

variáveis: número de peças produzidas (Numberout), número em fila (NumberInQueue) e taxa de utilização (Schedule Utilization) para as atividades modeladas.

Em cada uma das 10 replicações simuladas no processo, um total de 07 (sete) lotes contendo 15 (quinze) camisas concluiu todo o sistema - saídas (Numberout). Com isso observa-se que a capacidade produtiva da empresa não está de acordo com a demanda diária planejada (08 lotes de 15 camisas). Isso pode ser devido ao desbalanceamento da produção. Dentre as atividades do setor de costura que apresentaram maior *Waiting Time Average* (tempo médio na fila) foram as atividades de fechar lateral, unir o ombro e fazer bainha, como pode ser observado na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: *Waiting Time Average* das atividades do setor de costura

Replicações	Unir ombro	Fechar Lateral	Fazer Bainha	Pregar Fita	Fazer retrocesso
1	3,98	12,39	3,49	0,45	1,00
2	4,12	11,29	4,23	1,20	1,04
3	4,04	15,30	2,87	0,64	0,51
4	3,99	14,11	2,86	0,36	0,52
5	3,94	10,57	2,82	1,82	0,99
6	3,98	14,40	2,90	1,75	0,52
7	4,10	13,80	3,55	0,65	1,01
8	3,87	13,03	3,68	0,72	1,00
9	4,06	15,34	2,82	0,39	0,52
10	4,04	12,94	2,79	1,25	0,52

Outra variável importante para ser analisada é o *Schedule Utilization*, que se refere à taxa de utilização do recurso para executar determinada atividade. A Tabela 3 mostra essa taxa para as atividades de costura, foco deste trabalho. Porém, como as taxas de utilização do setor de estampagem estiveram abaixo da sua capacidade, essas também foram analisadas, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 3: *Schedule Utilization* das atividades do setor de costura

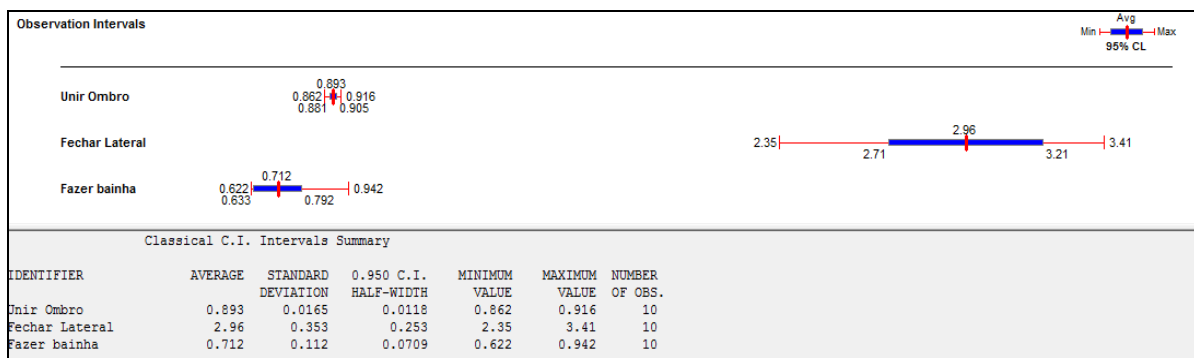
Replicações	Unir ombro	Fechar Lateral	Fazer Bainha	Pregar Fita	Fazer retrocesso
1	0,25	0,76	0,71	0,70	0,16
2	0,25	0,75	0,71	0,70	0,16
3	0,25	0,75	0,70	0,68	0,15
4	0,26	0,75	0,70	0,69	0,16
5	0,25	0,76	0,69	0,70	0,16
6	0,25	0,75	0,70	0,70	0,15
7	0,26	0,75	0,70	0,68	0,16
8	0,25	0,76	0,70	0,70	0,16
9	0,25	0,75	0,69	0,70	0,16
10	0,25	0,75	0,70	0,70	0,15

Tabela 4: *Schedule Utilization* das atividades do setor de estampagem

Replicações	Colocar etiqueta	Colocar estampa	Secar estampa
1	0,020	0,06	0,23
2	0,019	0,05	0,23
3	0,020	0,06	0,22
4	0,020	0,06	0,23
5	0,019	0,05	0,22
6	0,020	0,06	0,23
7	0,019	0,06	0,23
8	0,020	0,05	0,22
9	0,020	0,06	0,23
10	0,019	0,06	0,23

Utilizou-se também a ferramenta *Output Analyzer* do *software* para verificar se o número de replicações estava adequado, analisando a variável *NumberInQueue* das 03 atividades do setor de costura que obtiveram maior *Waiting Time Average* (tempo médio na fila), como mostra a Figura 5. Os valores das Tabelas 3 e 4 estão divididos por 100.

Figura 5 – Intervalos de Confiança



Os números apresentados pelos intervalos de confiança exibidos na Figura 5 permitem que o analista decida se os resultados satisfazem ou não suas expectativas. É comum que se busquem intervalos de confiança para os quais o valor do semi-intervalo de confiança ( $h$ ) seja menor ou igual a 10% da média amostral (FREITAS FILHO, 2008). Nesse sentido, como os intervalos de confiança para os três itens analisados foram menores do que 10% da média amostral, pode-se inferir, portanto, que as 10 replicações utilizadas na simulação do modelo são suficientes o possível para garantir a obtenção de um intervalo de confiança aceitável.

## 6.7 Proposta de melhorias

Com base nos dados analisados no tópico anterior, pode-se observar que há recursos com um nível de utilização baixo, tanto no setor de costura quanto no setor de estampagem. Como tentativa de solucionar o problema, a empresa poderia usar operadores polivalentes, que executassem mais de uma atividade no setor de costura, por exemplo, combinando as atividades de pregar fita na gola e fazer o retrocesso, pois foram essas atividades que demonstraram um baixo nível de utilização e também por serem operações subsequentes possibilitam a sua realização por apenas um único operador.

No setor de estampagem poderia aplicar uma mudança no *layout*, aproximando as máquinas, o que aumentaria o alcance máximo de cada operador, de forma que pelo menos 02 (dois) operadores pudesse realizar todo o processo, já que o nível de utilização desse recurso para confecção de camisetas utilizando 03 operadores foi muito baixo.

Outra melhoria proposta seria o cálculo da capacidade produtiva do sistema, visto que o mesmo não consegue atender a demanda diária de 120 camisas. Desta forma, obter-se-ia nova capacidade de produção, e assim se estimaria uma demanda real a qual poderia ser atingida. Para a realização desta melhoria outras ferramentas poderiam ser empregadas, como a cronoanálise, uma vez que determinaria os tempos padrão para cada operação, e teria exatidão no tempo total de produção para cada lote de 15 camisas.

## 7. Considerações finais

O processo de modelagem e simulação da produção se constitui em excelente alternativa para possibilitar possíveis intervenções no sistema real, já que é se pode para evitar custos oriundos de experimentação e/ou interrupção do fluxo produtivo, além de proporcionar aos analistas uma visualização de todo o sistema. Isso permite avaliar os resultados esperados antes mesmo de sua implantação. Conhecer o sistema real é uma condição vital para o sucesso da modelagem. Possíveis erros de má interpretação do comportamento do sistema poderiam ser evitados, visando aproximar o modelo o máximo possível do sistema real.

A ferramenta de simulação permite inúmeros benefícios que foram identificados quando da reprodução computacional do processo de produção, uma vez que ela possibilitou: estudar as variáveis que afetam o ambiente do problema; levantar informações relativas aos processos; verificar o comportamento que as alterações produzem durante a produção, reportando ao gestor a identificação das variáveis que influenciam no sistema; permitir a análise de longos

períodos em curto espaço de tempo; avaliar várias perspectivas e comparar os seus efeitos e sendo o caso, corrigir os problemas com maior rapidez.

A modelagem do presente trabalho demonstrou que a capacidade produtiva da empresa não está balanceada em função da demanda diária planejada. Este problema pode ter relações com o desnivelamento da produção, haja vista que há setores trabalhando muito abaixo da sua capacidade. As variáveis *Numberout*, *NumberInQueue* e o *Schedule Utilization* apontam a falta de equilíbrio entre produção e demanda no processo.

Como proposta de melhoria do processo sugere-se a aplicação de técnicas de balanceamento da produção; aplicação de conceitos de planejamento, programação e controle da produção; adequação do *layout*; capacitação do corpo de operadores, entre outras.

## REFERÊNCIAS

CHWIF, L. MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos**: Teoria e prática. 3. ed. São Paulo: Leonardo Chiwf. 2010.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GARCÍA, Rolando. **O conhecimento em construção**: das formulações de Jean Piaget à teoria dos sistemas complexos. Tradução: Valério Campos. Porto Alegre: Artemed, 2002.

KELTON, W. D. SALDOWSKI, R. S. SALDOWSKI, D. A. **Simulation Whith Arena**. New York: McGraw-Hill, 1998.

MELÃO, Nuno; PIDD, Michael. A conceptual framework for understanding business processes and business process modelling. **Information Systems Journal**. Volume 10, Issue 2, pg 105–129, April 2000.

PRADO, D. S. **Usando o Arena em simulação**. Volume. 3. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços, 2010.

SHANNON, R.E. **System simulation**: the art and science. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall, 1975.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3ª Ed. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção; 2005.