



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ARTHUR FEITAL LEITE

**ANÁLISE PRÁTICA POR MEIO DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS EM
UMA INDÚSTRIA DE MÓVEIS**

**UBÁ
2014**

ARTHUR FEITAL LEITE

**ANÁLISE PRÁTICA POR MEIO DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS EM
UMA INDÚSTRIA DE MÓVEIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Produção da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Iracema Mauro Batista

UBÁ
2014

ANÁLISE PRÁTICA POR MEIO DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS EM UMA INDÚSTRIA DE MÓVEIS

Resumo

Difundir a simulação de eventos discretos como excelente técnica para tomada de decisão, de forma a avaliar o número de recursos necessários para cada atividade produtiva e ministrar planejamentos exequíveis, por meio de um modelo computacional em uma indústria de móveis. Essa metodologia é testada através de uma análise teórica e um estudo de caso aplicado em um setor de estofados, onde as operações estão sujeitas a grande variabilidade por serem executadas manualmente. Assim, a construção de um modelo computacional por meio da utilização da linguagem de simulação do *software* Arena® é utilizado para tomar as decisões que otimizem os processos. Logo, o estudo de caso possibilitou através deste modelo, avaliar as necessidades de contratação e investimento para cada processo produtivo e realizar planejamentos exequíveis de acordo com a realidade prática da produção. Mostrar os benefícios da simulação de eventos discretos, bem como a utilização de uma linguagem de simulação para agilidade e confiabilidade dos resultados. Por fim, possibilitar a continuidade da pesquisa de forma a avaliar e identificar outras variáveis que são passíveis de aleatoriedade, ou seja, incerteza como falhas em equipamentos e manutenção dos mesmos e buscar meios que possibilitem automatização dos processos.

Palavras-chave: Simulação de Eventos Discretos. Modelagem Computacional. Otimização de Processos. Planejamento e Controle da Produção.

PRACTICAL ANALYSIS BY MEANS OF DISCRETE EVENT SIMULATION ON A FURNITURE INDUSTRY

Abstract

Diffuse the discrete event simulation as an excellent technique for decision making, in order to evaluate the number of resources for each productive activity and provide practicable planning, by means of a computational model on a furniture industry. This methodology is tested by a theoretical analysis and by a case study applied in an upholstered furniture sector, where the operations are exposed to great variability because of being manually executed. Therefore, the making of a computational model by means of the using of the simulation software Arena is used for making decisions that improves the processes. Hence, the case study enabled by means of this model, to evaluate the necessity of hiring and investing in each productive process and to execute practicable planning according to the practical reality of the production process. Demonstrate the benefits of the simulation of discrete events, as well as the using of a simulation language for agility and reliability of the results. Lastly, enable the continuity of this research in order to evaluate and identify other variants which can be aleatory, in other words, uncertainties like failures and maintenance in equipments and find means that allow the automation of the processes.

Keywords: Discrete Event Simulation. Computational Modeling. Process Optimization. Production Planning and Controlling

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, com a forte concorrência entre as indústrias, evitar investimentos desnecessários ou por vezes equivocados, tornou-se uma grande vantagem competitiva, impedindo a descapitalização no caixa da empresa. Com advento da simulação computacional, é possível então, descrever um sistema real transformando-o em um modelo para conduzir experimentos com o mesmo. Assim, o número de pessoas, máquinas, recursos para a atividade produtiva serão analisados antes mesmo de serem adquiridos (PRADO, 2009).

A produção então deve ser dimensionada de forma que atenda à demanda com custos mínimos, de maneira que mantenha altos níveis de produtividade. Essa, que por sua vez é a razão entre *outputs* (saídas: produtos, serviços, funções de transformação) e *inputs* (entradas: insumos, recursos necessários, instalações, capital, mão de obra, tecnologia, energia elétrica, informações e outros) (MARTINS; LAUGENI, 2005).

A técnica de simulação é uma ferramenta da Pesquisa Operacional, que é um método científico aplicado na resolução de problemas complexos, centrado em tomada de decisões através de modelos quantitativos. Logo, a simulação é uma ferramenta para análise e tomada de decisão. De acordo com Prado (2010, p.24): “Simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital.”

A simulação pode ser aplicada a vários tipos de sistemas. A Simulação de Eventos Discretos e Estocásticos, que é utilizada para modelar sistemas em que seu estado muda discretamente no tempo, não de forma contínua. O processo não segue a um padrão determinístico de entradas e saídas, mas aleatório, geralmente atribuído por uma distribuição probabilística que melhor representa o fenômeno real estudado (FREITAS FILHO, 2008).

O computador é uma ferramenta essencial para a simulação, e com a sua difusão, várias empresas especializadas em desenvolvimento de softwares se interessaram, como consequência foi desenvolvido vários *softwares* de simulação de eventos discretos. Os mais conhecidos atualmente são: ARENA®, PROMODEL, SIMIO, TAYLOR, AUTOMOD. O *software* ARENA®, desenvolvido pela Rockwell, um ambiente gráfico integrado de simulação, que comporta todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados (PRADO, 2010).

O objetivo deste trabalho é difundir a simulação computacional como uma ótima ferramenta de análise e decisão. Criar um modelo de simulação computacional utilizando o *software* ARENA® para conduzir experimentos e análises no setor de estofados de uma

indústria de móveis. Este modelo auxilia alcançar os objetivos específicos dessa metodologia que é definir as quantidades de recursos (equipamentos, máquinas, pessoas, outros) e a alocação dos mesmos em cada estação de trabalho, para então atender à demanda de mercado com eficiência e economia, por meio de uma análise prévia.

A justificativa de se utilizar a simulação computacional nessa metodologia se dá por que:

- Minimiza gastos, justificando os investimentos.
- Aperfeiçoa o processo, evitando gargalos, nivelando a capacidade produtiva dos recursos.
- Reduz riscos, analisando as mudanças antes mesmo que qualquer uma seja aplicada no sistema real.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Conceito de simulação

A palavra simulação remete a vários significados, pois é aplicada em várias áreas do conhecimento. De modo geral, a simulação pode ser explicada como a imitação do mundo real.

Evidentemente, a simulação tem um conceito mais técnico e estrito, segundo Freitas Filho (2008), pois consiste em projetar um modelo para descrever o comportamento de um sistema real, desenvolver teorias e hipóteses considerando as observações realizadas e usar para antever o comportamento futuro devido à ação ocasionada por modificações no sistema ou nas metodologias empregadas em sua operação.

Chwif e Medina (2010), classificam a simulação em duas grandes categorias: simulação não computacional e simulação computacional. Então nada impede que a técnica seja efetuada manualmente, mas a realização da mesma requer muito trabalho para desempenhar cálculos, assim com o avanço tecnológico o computador passa a ser uma ferramenta aliada e fundamental.

Geralmente, os textos clássicos de simulação citam várias definições do que é simulação. Chwif e Medina (2010) fazem uma apresentação diferente, definem o que não é simulação, apoiado no que normalmente o senso comum acha sobre a mesma.

Simulação não é uma bola de cristal: A simulação não pode prever o futuro. O que pode ser predito é o comportamento de um sistema apoiado em dados de entradas específicos e com respeito a um conjunto de premissas. Tudo realizado com um certo nível de confiança.

A simulação não é um modelo matemático: A simulação não pode ser reduzida a um simples cálculo ou a uma fórmula matemática, visto que não há uma “expressão analítica fechada” ou qualquer conjunto de equações que, uma vez fornecidos os valores de entrada, é gerado os resultados sobre o comportamento do sistema.

A simulação não é uma ferramenta estritamente de otimização: Embora possa ser combinada com algoritmos de otimização, a simulação é uma ferramenta de análise de cenários, logo não é por si só uma ferramenta de otimização capaz de identificar uma solução ótima.

A simulação não é substitutiva do pensamento inteligente: A simulação não substitui o pensamento humano nas tomadas de decisões.

A simulação não é uma técnica de último recurso. Anteriormente a simulação era empregada quando todas outras possíveis falhassem, porém, a simulação é uma das técnicas mais aplicadas na Pesquisa Operacional e na Ciência da Administração.

A simulação não é uma panaceia para solucionar todos os problemas, é mais bem aplicada em problemas complexos e estocásticos.

2.2 Propósito da simulação

Ao realizar alguns tipos de estudos de planejamento em que se deseja aumentar um sistema fabril, aprimorar processos, fluxos ou dimensionar a frota de veículos de uma empresa, a simulação permite avaliar as mudanças sem que haja implementação. Segundo Freitas Filho (2008, p. 46): “A Simulação permite ao analista realizar estudos sobre correspondentes sistemas modelados para responder questões do tipo: ‘o que aconteceria se?’”

Um fator que motiva a sua utilização também, é a possibilidade de aplicar animações, que proporciona ter visão do comportamento do sistema no decorrer da simulação e ter a percepção de que o modelo simulado é semelhante à realidade (PRADO, 2010).

Batemam *et al.* (2013) justifica porque simular nos seguintes cinco motivos a seguir.

A simulação pode adicionar criatividade ao processo de resolução de problemas: Grande parte das empresas dispõem de recursos, esses, quando bem empregados, trazem significativa melhoria tanto em produtividade quanto em qualidade. Porém o medo de falar impede que os funcionários ofereçam sugestões mediante aos seus conhecimentos, ideias e criatividade. Com a simulação é possível vencer esse preconceito. Assim, possibilita analisar uma nova proposta através de um modelo de simulação, que permite avaliar o impacto. Então, a ferramenta é importante para vender a ideia e incentivar uma atitude do tipo “vamos experimentar para ver” (BATEMAM *et al.*, 2013).

A simulação pode prever resultados: pois educa as pessoas ao comportamento dos sistemas em funcionamento e como estes reagem às mudanças. Várias possibilidades de projetos podem ser analisadas e testadas para se antever os efeitos e resultados no desempenho do sistema (BATEMAM *et al.*, 2013).

A simulação considera as variâncias do sistema: Nos sistemas (mundo real), muitas atividades não acontecem da mesma forma a medida que ocorrem. Até em processo automatizados, onde paradas de máquinas, quebras de transportadores e outras situações indesejadas são propícios a um ambiente de variação e incerteza. Conforme o fator humano é inserido no sistema, a possibilidades de variação aumenta. A simulação é a única ferramenta capaz de trabalhar de modo eficaz com essas variações e assegurar uma avaliação sobre a performance do sistema (BATEMAM *et al.*, 2013).

A simulação promove soluções totais: A concepção de um modelo de simulação é capaz de aprimorar o resultado de maneira colaborativa, entre as partes de uma organização com diferentes interesses. A simulação é capaz de trazer uma extensa série de conhecimento, informação e especialização de várias fontes. Assim, há uma melhor compreensão de todos acerca do problema e a promoção de resultados generalistas (BATEMAM *et al.*, 2013).

A simulação pode ser financeiramente viável: Com a evolução da simulação baseada em PC, são alcançadas reduções consideráveis no que se refere a custo. A nova geração de softwares oferece simplificação à modelagem, e gera ganhos significativos de tempo. Conforme a simulação se torna uma ferramenta aceitável, outros esforços são realizados para tornar o custo em nível considerável (BATEMAM *et al.*, 2013).

Outro aspecto que justifica a utilização da simulação é a legalidade. Quando se deseja avaliar sistemas em condições de emergência, acidente, incêndio entre outros desastres. Não é permitido provocá-los para determinar e estimar toda logística que envolve bombeiros, policiais, ambulâncias entre outros. Assim, o modelo de simulação torna possível tal avaliação (FREITAS FILHO, 2008).

2.3 Sistemas e estado do sistema

Um sistema é o conjunto de objetos, entidades tais como pessoas, equipamentos, métodos e peças que interagem entre si para alcançar um objetivo comum. O comportamento de um sistema é estudado pela dinâmica de interação de seus elementos por um conjunto de variáveis o qual é denominado estado do sistema (BATEMAM *et al.*, 2013).

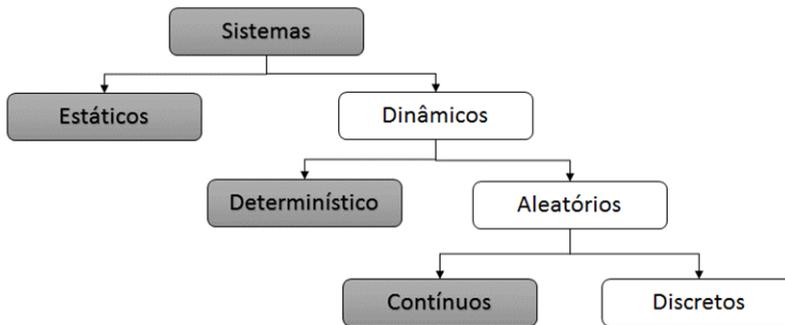
O estado do sistema é então um conjunto de variáveis classificadas em: estocásticas (que mudam aleatoriamente) e determinísticas (que não são influenciadas por probabilidade). Essas que por sua vez contêm todas informações necessárias para representar um sistema em certo instante (BATEMAM *et al.*, 2013).

2.3.1 Classificação dos sistemas

É muito importante classificar os sistemas para avaliar qual ferramenta de decisão será melhor aplicada. De acordo com Freitas Filho (2008, p. 46): “Para o propósito de modelar e simular sistemas, estes podem de maneira geral, ser classificados como: estáticos ou dinâmicos, contínuos ou discretos ou, ainda, como determinístico ou aleatório.”

Como exemplo, a FIG. 1 mostra a classificação dos sistemas de forma esquemática.

FIGURA 1 - Classificação dos Sistemas



Fonte: FREITAS FILHO (2008, p. 46).

2.3.1.1 Estáticos ou Dinâmicos

O sistema estático é aquele que não apresenta variação com o tempo. Uma sala de estar vazia, por exemplo, não há nenhuma interação de produtividade entre seus elementos.

Nos sistemas dinâmicos há uma interação entre as atividades, seu comportamento varia no tempo e funcionam como um ciclo. O caso, por exemplo, de uma indústria de móveis (CHWIF; MEDINA, 2010).

2.3.1.2 Determinísticos e Estocásticos

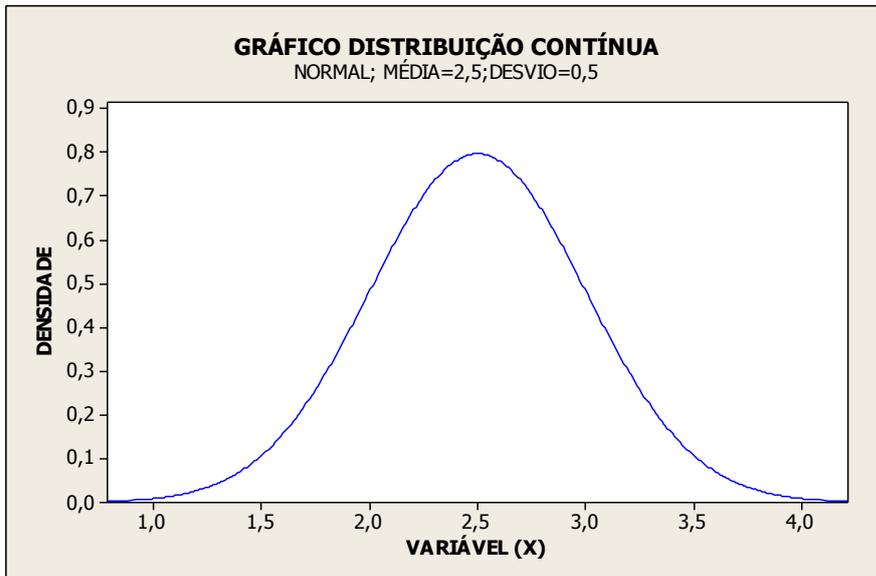
Sistemas determinísticos são aqueles que têm comportamento descrito por uma função. Se soltar uma moeda ela de fato cairá, por exemplo.

Sistemas estocásticos, envolvem um maior número de variáveis e são de natureza aleatória, ou seja, são descritos mas não podem ser predeterminados. A mesma moeda ao cair, pode ficar com cara ou coroa virada para cima, porém não pode ser predeterminada (CHWIF; MEDINA, 2010).

2.3.1.3 Contínuos e Discretos

Sistemas Contínuos como o próprio nome traduz, é uma ação que não cessa. Varia seu estado continuamente, ao longo do tempo, o qual geralmente é reproduzido por equações diferenciais. A temperatura da água em processo de aquecimento ou a vazão de um fluido por tubulações, por exemplo (CHWIF; MEDINA, 2010).

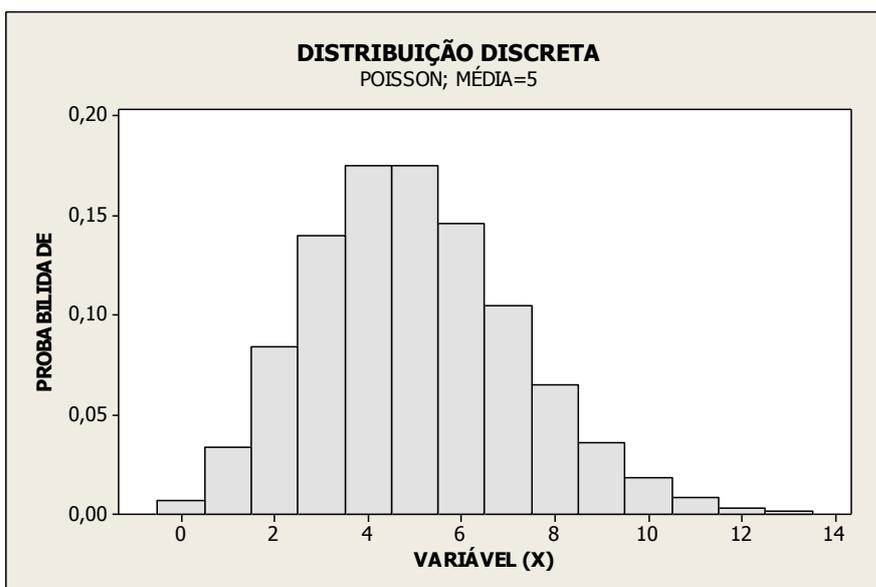
FIGURA 2 - Interpretação gráfica de um sistema contínuo.



Fonte: O autor.

Sistemas Discretos têm comportamento instantâneo, ou seja, acontecem em uma única etapa (em pontos discretos no tempo). Um caminhão chegando a um ponto de entrega, cliente chegando ao banco, uma peça chegando à máquina. O acontecimento desses eventos altera o estado do sistema (CHIWF; MEDINA, 2010).

FIGURA 3 - Interpretação gráfica de um sistema discreto



Fonte: O autor.

2.4 Conceito de Modelos

Avaliar o desempenho de um sistema e propor melhorias é relevante. A concepção de um modelo que é a representação do real, faz-se de capaz medir seu desempenho, compreendê-lo e propiciar mudanças sem riscos ao funcionamento do sistema.

O modelo é uma simplificação do sistema real, mas com o nível de detalhes capaz de proporcionar a validação das conclusões elaboradas (PRADO, 2010).

2.4.1 Tipos de modelos

Chwif e Medina (2010) classificam os modelos em: modelos simbólicos, modelos matemáticos e modelos de simulação.

Os modelos simbólicos (Icônicos ou diagramático) é constituído por símbolos que representam o sistema de maneira estática, como fotos, maquetes, protótipos. Geralmente, são usados na documentação de projetos e como ferramenta de comunicação. A sua natureza estática do sistema e falta de elementos quantitativos (medidas de desempenho) são grandes limitações que prejudicam a representação de um sistema com muitos detalhes, principalmente para simulação.

Os modelos matemáticos (analíticos) são caracterizados por um grupo de fórmulas matemáticas, como modelos de Programação Linear ou modelos analíticos de Teoria das Filas. Estes tipos de modelos não representam soluções analíticas para sistemas de maior complexidade.

Os modelos de simulação são capazes de representar com maior fidelidade as características de um sistema real, que apresentam maior complexidade por serem de caráter dinâmico (o que muda o estado ao longo do tempo) e sua característica aleatória (estocástica, o que é controlado por variáveis aleatórias) (FREITAS FILHO, 2008).

Segundo Chwif e Medina (2010), os modelos de simulação podem ser divididos em três categorias básicas: simulação de Monte Carlo, simulação contínua e simulação de eventos discretos. A simulação de Monte Carlo não considera o tempo explicitamente como uma variável, é aplicada através de geradores aleatórios para simular sistemas físicos ou matemáticos.

A simulação contínua e a simulação de eventos discretos consideram as alterações de estado do sistema ao longo do tempo. A simulação contínua modela sistemas em que seu estado varia continuamente no tempo, tais variações são calculadas por equações diferenciais. O

aquecimento e resfriamento de uma chapa e metal se caracteriza por uma variação contínua. Já a simulação de eventos discretos é orientada por eventos, onde o relógio sempre marca o instante da ocorrência de cada evento. As chegadas de aviões a um aeroporto são caracterizadas por eventos discretos. Há casos em que a simulação contempla modelos de eventos contínuas e discretos sendo denominada simulação combinada ou híbrida (CHWIF; MEDINA, 2010).

2.5 Conceitos utilizadas em modelagem e simulação de sistemas

Na prática de modelagem e simulação de sistemas é comum utilizar alguns conceitos básicos. É importante lembrar que outros autores podem adotar termos diferentes. Baseado em Freitas Filho (2008) estão a seguir algumas nomenclaturas:

- **Variáveis de Estado:** como o próprio nome traduz, são variáveis em que os valores determinam o estado do sistema em algum momento. São informações necessárias para a compreensão do comportamento do sistema ou modelo, relacionado aos arranjos de estudo. O número de peças à espera do processo em uma máquina (fila) define, por exemplo, o estado da máquina em ocupada ou livre.
- **Eventos:** são acontecimentos, programados e/ou não programados, que promovem a mudança de estado. A ocorrência de um evento é responsável por alterar ao menos uma variável de estado. Como exemplo, a chegada de clientes a um banco, altera o estado do sistema, no caso, os atendentes para ocupado, caso já não estejam, e o tamanho da fila de espera, para o atendimento.
- **Entidades e Atributos:** As entidades correspondem aos objetos que compõem o sistema em estudo. Essas entidades que são caracterizadas por atributos, dessa forma, podem-se dar nome, roteiro de fabricação, tempo médio de processamento, entre outras particularidades. As entidades são classificadas em estáticas (não se movem pelo sistema) e dinâmicas (se movem pelo sistema). Para exemplificar, em uma fábrica, as peças produzidas se movem pelas máquinas para processamento, as peças são entidades dinâmicas e as máquinas entidades estáticas, ainda, os atributos da peça podem ser investigados, como, tempo de processamento, demanda do mercado entre outros.
- **Recursos:** são entidades estáticas. São responsáveis por fornecer serviços às entidades dinâmicas.

- Filas: são o conjunto permanente ou temporárias de entidades associadas a algum recurso e são facilmente entendidas pelas pessoas através das suas experiências no dia a dia, por exemplo, quando vão a banco, ao barbeiro.
- Atividade: Em simulação atividade refere-se a um período de tempo predeterminado. Este período de tempo que por sua vez, admite valores constantes ou baseado em uma expressão matemática ou a partir de uma distribuição de probabilidade.
- Períodos de Espera: são intervalos de tempo que de modo geral, o seu comprimento é desconhecido (não se tem controle). Em analogia, um caso típico de períodos de esperas, são os tempos dispendidos em filas.
- Tempo Simulado (Real) e Tempo de Simulação: é muito importante entender a diferença entre tempo simulado, que se refere ao tempo do funcionamento real do sistema, e tempo de simulação, que corresponde ao tempo para execução do modelo. Citando o caso, em um porto, as atividades, o tempo simulado (real), dispense de muito tempo. A partir de um modelo de simulação é possível acelerar os eventos (tempo de simulação) de modo a obter mais rápido, os resultados. Em outra situação, agora um modelo de rede de computadores, os eventos podem ocorrer numa unidade de tempo na casa de milissegundos, neste caso, é possível desacelerar os eventos e melhor analisar o comportamento do sistema.

2.6 Etapas para o projeto de simulação

Em todo estudo de simulação é utilizado o termo projeto, para caracterizar um esforço temporário, isto é, possui início e fim e a realização das atividades propostas são divididas em etapas. Como exemplo, o desenvolvimento de um produto é executado por projeto.

Baseado em perguntas feitas a profissionais do ramo, Prado (2010) define que um projeto de simulação para ser bem-sucedido deve:

- O cliente/usuário fica satisfeito com o produto recebido
- O modelo desenvolvido:
 1. Deve resolver o problema.
 2. Deve gastar um tempo aceitável para ser desenvolvido.
 3. Deve ter um custo aceitável.
 4. Deve ser bem documentado.
 5. Deve aceitar alterações de dados do cenário sem alterações no código.

Com base em Freitas Filho (2008) a FIG. 4 apresenta de forma sequencial as etapas do projeto de simulação.

FIGURA 4 - Etapas do projeto de simulação



Fonte: FREITAS FILHO (2008, p. 29).

2.6.1 Etapa de Planejamento

Formulação e análise do problema: Ao se iniciar um projeto de simulação é preciso estabelecer qual o propósito e objetivo do estudo, dado que é importante caracterizar a situação atual para continuidade do projeto.

Planejamento do Projeto: Nesta atividade é feito o levantamento dos recursos necessários para realização do projeto, como: pessoal, suporte, gerência, *hardware* e *software*. Nesta etapa, também, incluem-se os cenários que serão investigados com um cronograma para realização dos mesmos.

Formulação do modelo conceitual: aqui, é realizado um esboço do sistema, de forma gráfica (fluxograma, diagrama do ciclo de atividades, são alguns exemplos) ou até mesmo algorítmica. Desta forma, o modelo é iniciado de forma simplificada e irá crescer conforme o andamento do projeto, isto é feito para que caso ocorra alguma eventualidade, será mais fácil contorná-la e para haver uma pré-avaliação do funcionamento do sistema.

Coleta de macroinformações: macroinformações são acontecimentos, dados e estatísticas cruciais, originados das observações, experiência das pessoas envolvidas e/ou dados

históricos. Geralmente as macroinformações servem para conduzir o horizonte da coleta de dados.

2.6.2 Etapa de Modelagem

Coleta de Dados: nesta fase, são coletados acontecimentos, dados e estatísticas cruciais, originados das observações, experiência das pessoas envolvidas e/ou dados históricos. Porém, com um nível de exigência e análise maior.

Tradução do Modelo: neste estágio, o modelo será codificado numa linguagem de simulação adequada. Escolha de quem fará a tradução do modelo conceitual, como será feita a comunicação pela programação e gerência do projeto e a documentação (nome de variáveis, atributos entre outros) para arquivo, são atividades pertinentes a esta fase.

Verificação e validação do modelo: aqui, é avaliado se o modelo esteja em conformidade (sem erros de sintaxe e lógica) e que seus resultados estão de acordo com o modelo real.

2.6.3 Etapa de Experimentação

Projeto experimental: o principal objetivo desta fase é obter mais informações com o menor número de experimentos, ou seja planejar experimentos que produzam os dados desejados.

Experimentação: realizar as simulações para conceber os dados esperados e para realização de análises de reação às mudanças.

Interpretação e análise estatística dos resultados: nesta fase são realizadas estimativas para as medidas de desempenho nos cenários planejados. Sendo assim, traçam-se inferências sobre os resultados alcançados. Logo, avalia-se o sistema é o tipo terminal ou não terminal, quantas replicações serão necessárias, qual período simulado e o período de *warm-up*.

2.6.4 Tomada de decisão e conclusão do projeto

Comparação de sistemas e identificação das melhores soluções: o objetivo deste estágio é comparar com sistemas já existentes e/ou considerados padrão, para propostas como alternativa. Assim, a ideia é comparar o melhor e adequá-lo ao objetivo do projeto.

Documentação: neste estágio é importante a documentação do modelo para utilizar como roteiro de análise de resultados e caso haja algum novo projeto a documentação existente facilitá-lo-á.

Apresentação dos resultados e implementação: esta é fase final em que são restabelecidos e confirmados os objetivos do projeto, os problemas que foram solucionados, uma rápida revisão metodológica e benefícios alcançados. De forma sucinta, é tudo que foi realizado e alcançado com o projeto.

2.7 Estatística aplicada à simulação

A maioria dos sistemas os quais se deseja modelar, são regidos por acontecimentos aleatórios. Isto é, são estocásticos e não determinísticos, dado que suas alterações ocorrem de forma probabilística. Chwif e Medina (2010) apresentam um exemplo que auxilia o entendimento.

Condiremos, por exemplo, um operador que repete por 100 vezes uma mesma operação de usinagem em um torno mecânico. Obviamente, nós nunca saberemos exatamente e de antemão quanto tempo o operador levará no processo de usinagem da próxima peça. O tempo gasto pelo operador do torno é, assim, uma variável aleatória. Apesar de não sabermos o tempo exato, podemos prever seu comportamento probabilístico, a partir da observação dos tempos que o operador consumiu, no passado, realizando a mesma operação. É fundamental que o comportamento probabilístico desta variável seja corretamente representado, para que possa ser utilizado em um modelo de simulação (CHWIF; MEDINA, 2010, p. 24).

Assim, na técnica de simulação, cujo sistema tem comportamento estocástico, é indispensável que o modelo apresente o mesmo comportamento. Esse objetivo é auferido por meio da aplicação de distribuições de probabilidade (FREITAS FILHO, 2008).

Em modelos de simulação, o objetivo é representar experimentos aleatórios. Estes que são representados por meio de variáveis aleatórias. Segundo Montgomery; Runger (2013, p. 39): “Uma variável aleatória é uma função que confere um número real a cada resultado no espaço amostral de um experimento aleatório.”

Montgomery; Runger (2013, p.39) classificam as variáveis aleatórias em discretas e contínuas. “Uma variável aleatória discreta é uma variável aleatória com faixa finita (ou infinita contável). Uma variável aleatória contínua é uma variável aleatória com um intervalo (tanto finito como infinito) de números reais para sua faixa.”

São exemplos de variáveis aleatórias contínuas: peso, temperatura, tempo (MONTGOMERY; RUNGER, 2013).

São exemplo de variáveis aleatórias discretas: número de peças defeituosas, número de pessoas em uma fila (MONTGOMERY; RUNGER, 2013).

Deste modo, em simulação, a modelagem de dados é importante para descrever o comportamento de acordo com uma distribuição de probabilidade. (BATEMAM *et al.*, 2013)

2.7.1 Modelagem dos dados de entrada

A modelagem de dados é uma etapa muito importante para o estudo de simulação, visto que, sua consequência influenciará em todo resultado da modelagem de simulação. (FREITAS FILHO, 2008)

Em resumo Chwif e Medina (2010) resumem a etapa de modelagem de dados de entrada em 3 fases: 1. Processo de amostragem e coleta de dados; 2. Tratamento de dados; 3. Inferência

2.7.2 Coleta de Dados

Para o início da coleta de dados é importante identificar as variáveis necessárias para o modelo, o método de coleta e o prazo para realizar o mesmo. Este processo é o momento de interação com sistema.

Sobre a etapa de coleta de dados propõem-se:

A primeira etapa, coleta de dados, corresponde ao chamado processos de amostragem. Na maioria dos casos, é impraticável realizar-se o levantamento de dados de toda a população. Uma amostra é um conjunto de valores retirados da população de interesse, utilizada para representar a população no estudo estatístico. Nesta etapa, o objetivo é garantir que a amostra obtida seja a mais representativa possível do fenômeno (CHWIF; MEDINA, 2010, p. 25).

2.7.3 Tratamento de Dados

O tratamento de dados é realizado para apontar e retirar possíveis falhas nos dados, deste modo a amostra converte-se com coerência e consistência.

Em resumo Chwif e Medina (2010, p. 25), sobre a etapa de tratamento de dados propõem: “No passo seguinte, Tratamento de dados, são utilizadas técnicas para descrever os dados levantados, identificar as possíveis falhas nos valores amostrados e aumentar nosso conhecimento acerca do fenômeno em estudo”

Botter (2002), dividi a etapa tratamento de dados em cinco: 1. Ordenação dos dados; 2. Avaliação descritiva; 3; Visualização de dados; 4. Limpeza de dados; 5. Agrupamento.

Na etapa, Ordenação dos dados, apesar de parecer simplista, já é possível determinar alguns erros, como encontrar valores “0” para tempo de operação, discrepância em ordens de grandeza.

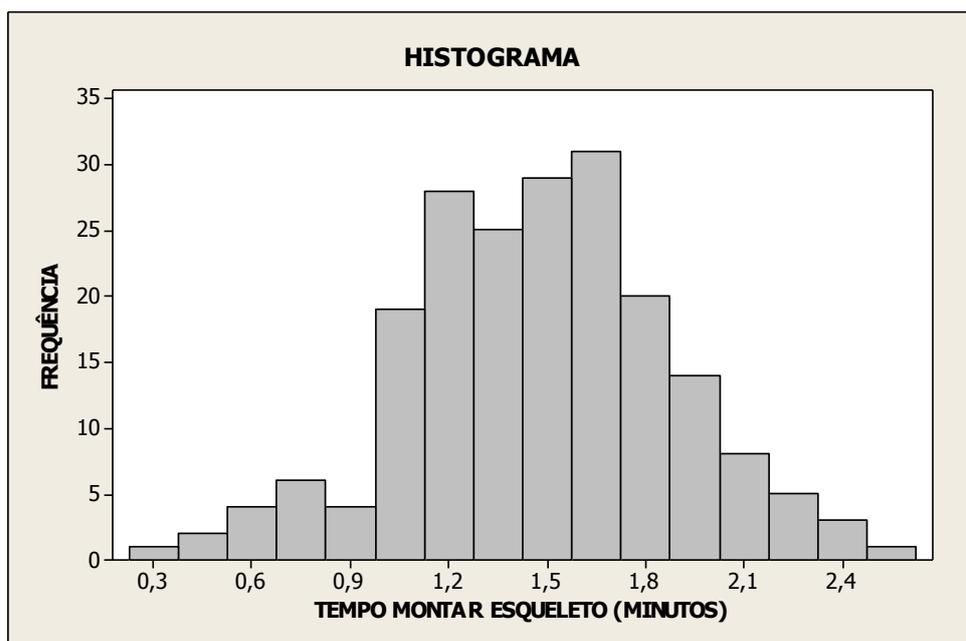
No passo seguinte, Avaliação descritiva, segundo Botter (2002) está relacionado à Estatística Descritiva, é recomendado análise de Medidas de Ordem (máximo e mínimo), Separatrizes (Quartis, Percentis), Medidas de Tendência Central (Média, Mediana e Moda) e Medidas de Dispersão (Amplitude, Intervalo Inter-Quartil, Variância, Desvio-Padrão e Coeficiente de Variação).

Na etapa consequente, Visualização de Dados, Botter (2002) propõe:

A avaliação descritiva não é suficiente para a completa e perfeita análise de dados, pois efeitos como assimetria na distribuição amostral podem não ser notadas com medidas somente numéricas. Deste modo, torna-se premente a visualização das variáveis em análise, que pode ser feita por meio de: Histograma, Gráfico de Frequência Acumulada, Diagrama de dispersão e a correspondente medida de associação (BOTTER, 2002, p.50).

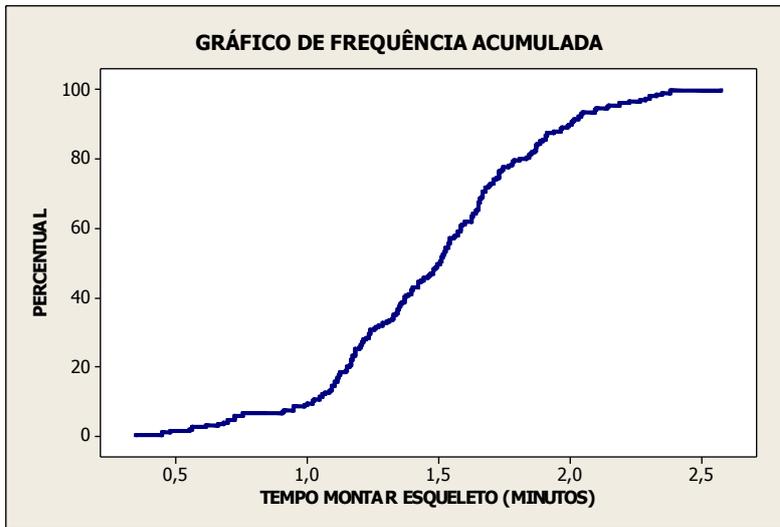
A FIG. 5 e FIG. 6 representam os gráficos, histograma e de frequência acumulada como exemplo.

FIGURA 5 - Gráfico Histograma



Fonte: O autor.

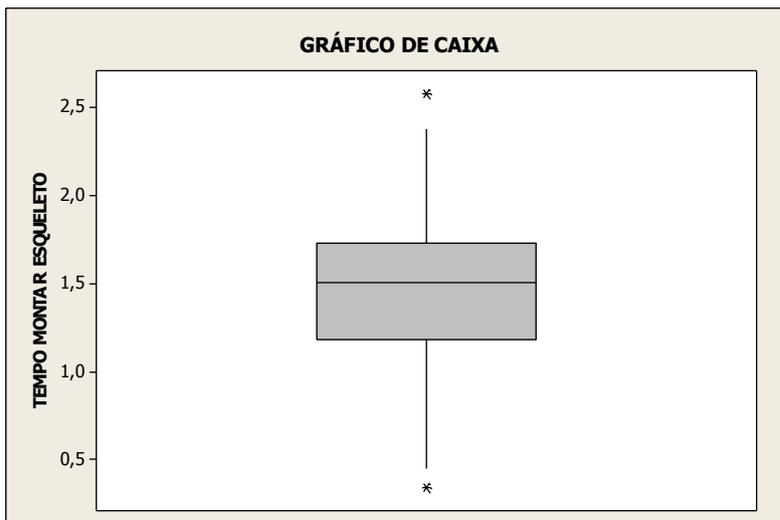
FIGURA 6 - Gráfico Frequência Acumulada



Fonte: O autor.

Na Limpeza dos Dados, após realizada as etapas anteriores e com posse dos resultados obtidos, alguns desses ainda encontram valores sem coerência e consistência. Valores esses que ocorrem por falhas na coleta de dados ou por eventos raros. Para retirar os valores não usuais é aplicado o Gráfico de Caixas.

FIGURA 7 - Gráfico de Caixa



Fonte: O autor.

Por fim do Tratamento de Dados, a etapa, Agrupamento, em que é investigada existência de grupos dentro dos dados amostrais.

2.7.4 Inferência

Na etapa, Inferência, é realizada a identificação da distribuição de estatística. Chwif e Medina (2010) assim definem: “A terceira etapa, inferência, aplica os conhecimentos do Cálculo de Probabilidades para inferir qual o comportamento da população a partir da amostra. Como resultado, tem-se um modelo probabilístico (isto é, uma distribuição de probabilidades) que representará o fenômeno aleatório em estudo e será incorporado ao modelo de simulação.

De acordo com Botter (2002), para afirmar que o modelo teórico representa os dados da amostra e realizados testes de aderência, em que é testada a validade ou não desta hipótese. Os testes mais utilizados conforme vários autores, Chwif e Medina (2010), Freitas (2008), Batemam *et al.* (2013) e Botter (2002) são os do qui-quadrado e o *Kolmogorov-Smirnov*.

Com auxílio do computador e os softwares de simulação, estes testes são realizados de maneira mais ágil, onde é calculado um índice chamado *p-value*. Quanto menor for o valor *p-value*, mais razões para rejeitar a hipótese de aderência, ou seja, a distribuição de probabilidade escolhida não adere aos dados reais. O software Arena, por exemplo, auxilia por meio do Input Analyser. A tabela 1 segundo Chwif e Medina (2010) o intervalo de valores utilizados.

TABELA 1 - Intervalos de valores para critério de validação da hipótese de aderência.

VALOR	CRITÉRIO
$p\text{-value} < 0,01$	Evidência forte contra a hipótese de aderência
$0,01 \leq p\text{-value} < 0,05$	Evidência moderada contra a hipótese de aderência
$0,05 \leq p\text{-value} < 0,10$	Evidência potencial contra a hipótese de aderência
$0,1 \leq p\text{-value}$	Evidência fraca ou inexistente contra a hipótese de aderência

Fonte: CHWIF E MEDINA (2010, p. 42).

FIGURA 8 - Teste de aderência pelo *Input Analyser* (Arena)

```

Distribution Summary
Distribution: Normal
Expression: NORM(1.48, 0.404)
Square Error: 0.005919

Chi Square Test
Number of intervals = 8
Degrees of freedom = 5
Test Statistic = 8.08
Corresponding p-value = 0.166

Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.0389
Corresponding p-value > 0.15

```

Fonte: O autor.

2.8 Simulação aplicada à indústria de móveis

A escolha da aplicação da simulação em um setor de estofados em uma indústria moveleira é por todo o seu processo realizado de forma manual. Como é proposto por Galinari, Teixeira Junior e Morgado (2013, p. 229): “a existência de etapas do processo produtivo cuja automação é difícil, como montagem e estofamento”. Assim, todas atividades estão sujeitas a variabilidade no tempo de execução das atividades.

A metodologia do estudo de caso e suas etapas estão baseadas no item 2.6. Os dados foram coletados no período de julho e agosto do ano de 2014 na empresa Móveis Rufato Ltda, situada na cidade de Rodeiro, Minas Gerais.

A primeira etapa para o estudo de simulação é definir os objetivos. Em um mesmo modelo o objetivo é definir quantidade de mão de obra para atendimento da demanda em cada processo produtivo, assim nivelar a capacidade produtiva.

A formulação do modelo conceitual considerou as seguintes atividades: montar esqueleto, lixar, colar espuma, encapar, cortar tecido, costurar, estofar e por fim, embalar.

A FIG. 9 e FIG. 10 representam os produtos fabricados pela Móveis Rufato Ltda em sua linha de estofados do ano de 2014, durante o estudo de caso.

FIGURA 9 - Produtos – “Verona”, “Viena”, “Aurora” e “Barcelona”.



Fonte: Disponível em <<http://www.moveisrufato.com.br/>>. Acesso em: 12 nov. 2014

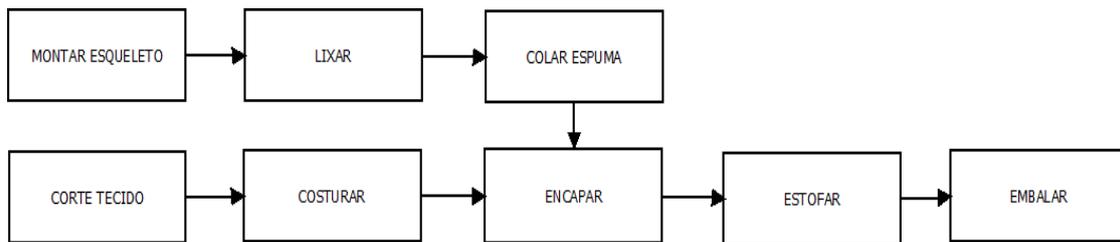
FIGURA 10 - Produtos – “Veneza”, “Diamante”, “Viva” e “Bari”.



Fonte: Disponível em <<http://www.moveisrufato.com.br/>>. Acesso em: 12 nov. 2014

A FIG. 11 representa o fluxograma das atividades realizadas para os produtos: “Verona”, “Viena” e “Aurora”.

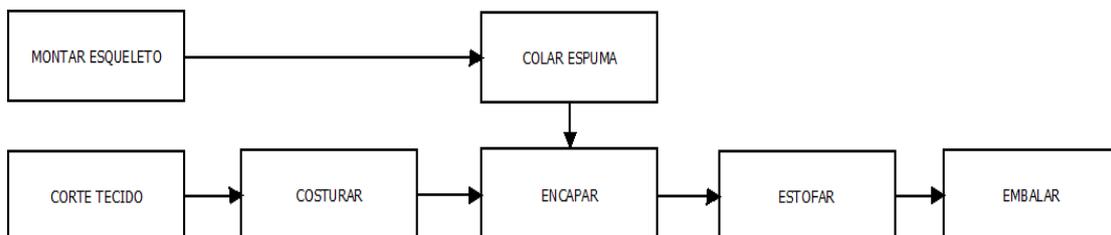
FIGURA 11 - Fluxograma de atividades, produtos: “Verona”, “Viena” e “Aurora”



Fonte: O autor.

A FIG. 12 representa o fluxograma das atividades realizadas para o produto: “Barcelona”.

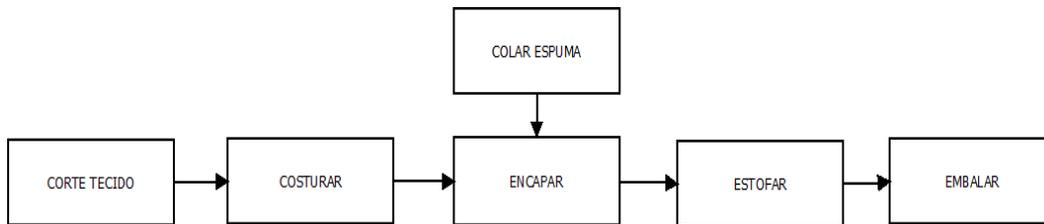
FIGURA 12 - Fluxograma de atividades, produto: “Barcelona”.



Fonte: O autor.

A FIG. 13 representa o fluxograma das atividades realizadas para os produtos “Diamante” e “Veneza”.

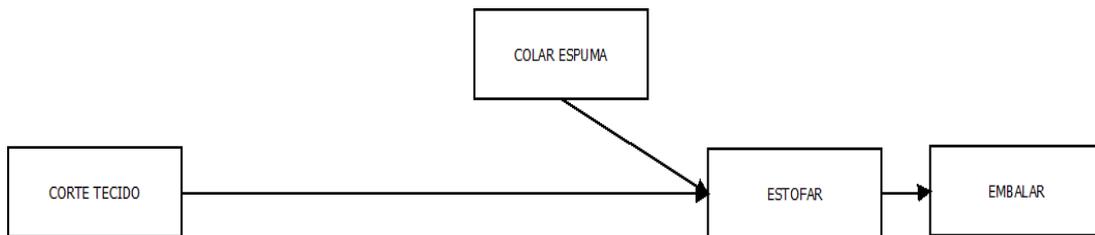
FIGURA 13 - Fluxograma de atividades, produtos: “Diamante” e “Veneza”.



Fonte: O autor.

A FIG. 14 representa o fluxograma das atividades realizadas para os produtos: “Viva” e “Bari”.

FIGURA 14 - Fluxograma de atividades, produtos: “Viva” e “Bari”.



Fonte: O autor.

O modelo conceitual ainda considera a capacidade de cada atividade, representada pela tabela 2.

TABELA 2 - Capacidade por atividade

Atividade	Capacidade (nº pessoas)
Montar Esqueleto	4
Lixar	1
Colar Espuma	2
Cortar Tecido	2
Costurar	5
Encapar	3
Estofar	5
Embalar	1

Fonte: O autor.

Os fluxogramas (Modelos Conceituais) são utilizados para nortear as coletas de dados e auxiliar a tradução do modelo (FREITAS FILHO, 2008).

A etapa de macroinformações e dados, foi levantada a demanda de mercado para cada produto e os tempos das atividades para cada produto e por fim realizados todos os tratamentos de dados conforme o item 2.7.

A tabela 3 representa o cálculo da demanda, que é realizado através da média móvel dos últimos três meses, baseado em Mesquita (2008). Para esse cálculo foi considerado as vendas da empresa nos períodos de maio, junho e julho do ano de 2014.

Uma alternativa seria considerar a média aritmética de “n” períodos anteriores, buscando, dessa forma, suavizar os resultados da previsão. Esse procedimento de cálculo é denominado “média móvel”, pois, à medida que um novo valor é incorporado à série, o valor mais antigo é descartado. (MESQUITA, 2008, p. 60)

TABELA 3 - Demanda de Volumes/Dia de produção.

Produto	Quantidade de cadeiras vendidas em 3 meses	Média Móvel mensal	Volumes (embalagem c/ 2 cadeiras)	Volumes/Dia
Verona	18160	6054	3027	138
Viena	11760	3920	1960	90
Aurora	7820	2607	1304	60
Viva/Bari	7428	2476	1238	57
Diamante	6836	2279	1140	52
Barcelona	3948	1316	658	30
Veneza	2514	838	419	20

Fonte: O autor.

Por meio da tabela 3, na coluna “Volumes/Dia”, há então um esboço do planejamento da produção, sendo o seu objetivo diário de realização e parâmetro para a programação e tradução do modelo no Arena.

A coleta do tempo de atividades foi realizada por meio de observação das atividades em campo no período de julho e agosto de 2014. Foram coletados 100 elementos para cada atividade e produto. A tabela 4 representa como exemplo parte do tempo que foi coletado e armazenado, em unidade de minutos.

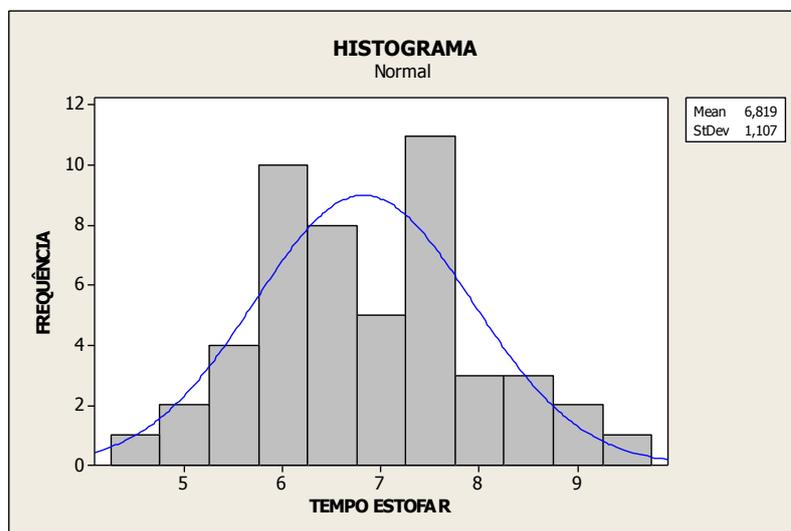
TABELA 4 - Amostragem do tempo em minutos da atividade estofar do produto Barcelona.

Tempo em minutos de Atividade: Estofar produto Barcelona										
7,44	5,63	6,34	5,63	7,79	5,32	7,44	6,05	9,37	7,66	7,44
6,05	6,43	6,33	6,29	8,46	6,93	5,63	6,43	4,80	6,52	5,89
9,37	4,80	7,32	6,73	8,08	5,64	6,34	6,33	7,32	7,49	5,98
7,66	6,52	7,49	7,36	6,02	6,76	5,63	6,29	6,73	7,36	7,30
7,44	5,89	5,98	7,30	7,67	7,78	7,79	8,46	8,08	6,02	7,67
7,05	6,91	7,46	6,00	5,90	6,39	5,89	6,91	4,42	6,93	5,91
6,39	4,42	5,86	6,24	7,17	4,42	5,98	7,46	5,86	5,64	7,71
5,32	6,93	5,64	6,76	7,78	5,86	7,30	6,00	6,24	6,76	5,79
9,06	5,91	7,71	5,79	8,31	6,24	7,67	5,90	7,17	7,78	8,31
8,87	8,36	6,56	7,54	5,04	7,17	7,78	6,39	4,42	5,86	6,24

Fonte: O autor.

A FIG. 15 corresponde ao histograma da atividade de estofar e sua curva de probabilidade para o produto Barcelona, assim essa atividade é descrita por uma curva normal com média 6,819 minutos.

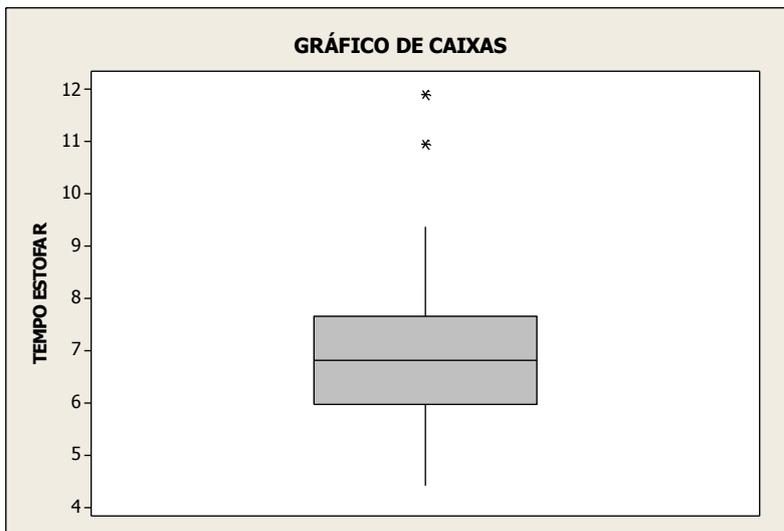
FIGURA 15 - Histograma e Curva de probabilidade dos dados originais



Fonte: O autor.

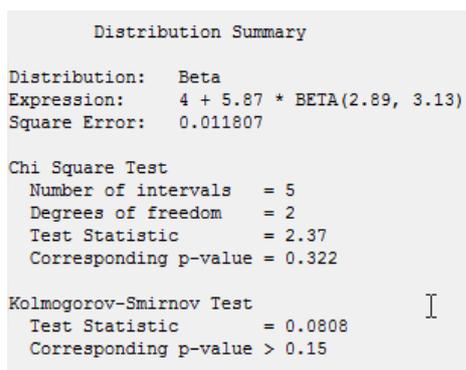
A limpeza de dados foi realizada para todas amostragem de tempos de atividade, a FIG. 16 mostra um gráfico de caixa que foi utilizado para excluir dois valores considerados *outliers*.

FIGURA 16 - Gráfico de caixa dos dados originais.



Fonte: O autor.

Para inferência, já com os dados limpos, foi utilizado o programa *Input Analyser*, que acompanha o programa Arena. A FIG. 17 representa os testes do Qui-Quadrado ($p\text{-value} = 0,322$) e o teste *Kolmogorov-Smirnov* ($p\text{-value} > 0,15$). Este método comprova que os dados seguem uma distribuição Beta.

FIGURA 17 - Inferência dos dados originais utilizando *Input Analyser*.

Fonte: O autor.

Feito todos os tratamentos de dados, a próxima etapa é a tradução do modelo. Na modelagem os produtos são as entidades, os recursos são as pessoas definidas em cada processo. As entidades (produtos) já são contabilizadas para atender à demanda. A simulação é realizada para avaliar possíveis gargalos e avaliar se a produção consegue produzir o planejado pela demanda.

A tradução deste modelo foi realizada por meio do *software* Arena. (Vide apêndice).

Após a tradução do modelo foi realizada a verificação do mesmo, esta análise é feita a partir do modelo conceitual. Assim há a avaliação se o modelo já traduzido, corresponde ao modelo conceitual (FREITAS FILHO, 2008) (CHWIF; MEDINA, 2010).

A validação do modelo foi realizada através da comparação das médias da medida de desempenho do sistema e desempenho do modelo por meio do teste estatístico T e sua distribuição *t* de *student*. (CHWIF; MEDINA, 2010). A tabela 5 a seguir mostra o cálculo do teste por meio de planilha eletrônica.

TABELA 5 - Validação do modelo por meio do Teste T

Replicação	Dados Reais	Dados Simulados	Diferença (Real - Simulado)
1	340	342	-2
2	336	344	-8
3	340	342	-2
4	347	344	3
5	332	343	-11
6	343	345	-2
7	348	341	7
8	347	342	5
9	345	343	2
10	345	343	2
11	339	337	2
12	345	344	1
13	336	342	-6
14	342	341	1
15	333	342	-9
16	341	339	2
17	340	342	-2
18	333	340	-7
19	346	343	3
20	336	342	-6
21	338	343	-5
22	332	340	-8
Média	340,1818182	342	-1,818181818
Desvio-Padrão	5,188231772	1,825741858	30,25108225
Grau de Significância (α)= 0,05 Teste Bicaudal $\alpha/2$			
Graus de liberdade = 42		2n-2	
Intervalo de confiança		-4,655934114	1,019570478

Fonte: O autor.

Por meio da tabela 5 é possível validar o modelo com 95% de confiança através da sua medida de desempenho em termos de volumes fabricados, já que o valor zero encontra-se entre o intervalo de confiança $[-4,65\%; 1,01\%]$. Como o desvio-padrão do sistema é maior que o modelo é válido avaliar falhas em equipamentos ou outras medidas de desempenho para melhorar ainda mais a representatividade do modelo.

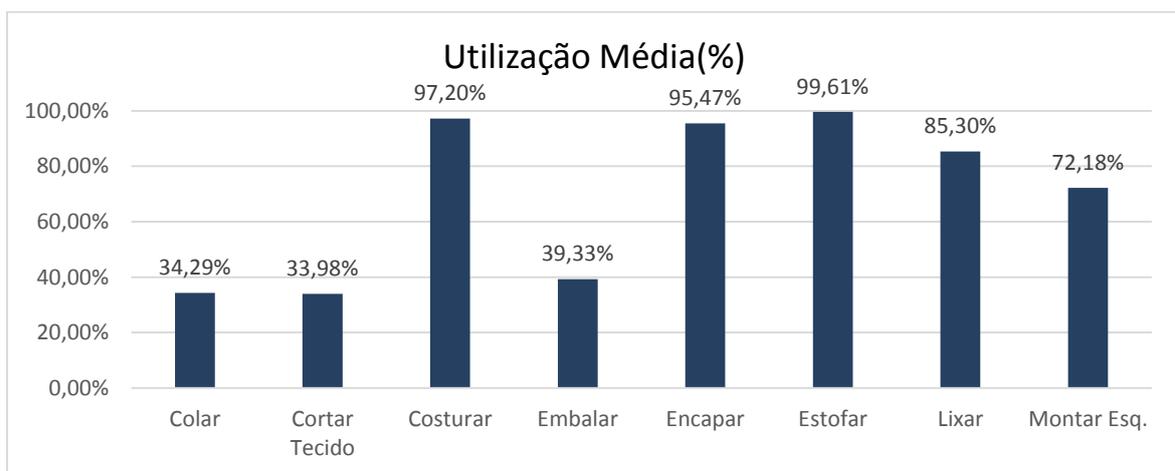
2.9 Análise dos resultados

Os dados gerados a partir das replicações foram analisados através do planejamento, por meio de uma demanda calculada e a prioridade de cada produto foi definida através do menor tempo médio de produção, mas nada impede que este modelo seja utilizado para avaliar o planejamento real da necessidade diária e considerar a prioridade do pedido.

Após 22 replicações o que representa os 22 dias (500 minutos por dia) trabalhados em um mês, a média percentual de atendimento da demanda para cada dia foi de 75,60%, desta forma 24,40% da média percentual deixaria de ser atendida. Esta avaliação é evidenciada no sistema real, devido à constante necessidade de hora extra para atingir a meta planejada.

A FIG. 18 representa o gráfico da utilização média dos recursos que foram levantadas após as replicações. Deste modo é possível analisar a necessidade de contratação ou realocação de mão de obra.

FIGURA 18 - Utilização média em percentual por processo.



Fonte: O autor.

Assim, é possível inferir que os processos: costurar, encapar e estofar estão com o nível de utilização elevado.

No mesmo modelo foi avaliada a quantidade de horas extra que serão necessárias para atender ao planejamento. O tempo de um dia de trabalho é 500 minutos, o tempo simulado necessário para atender à demanda, constatado após as replicações, foi a média de 722 min. Deste modo será necessário uma média de 3,7 horas adicionais, o que aumenta o custo da operação. A hora extra é necessária ser realizada nos setores de estofar, encapar e costurar.

Visto que os valores de remuneração são dados mais sigilosos, a tabela 6 é a estimativa em unidade de remuneração do valor gasto em hora extra por capacidade do setor.

TABELA 6 - Estimativa de gasto por unidade de remuneração da hora.

Valor hora (Unidade de Salário por hora)	1
Valor hora extra (Unidade de Salário por hora)	1,5
Quantidade hora extra	3,7
Valor total de hora extra por capacidade (Unidade de Salário)	5,55

Fonte: O autor.

Deste modo a tabela 7 gerada a partir dos dados da tabela anterior, demonstra o gasto em hora extra nos setores de estofar, encapar e costurar convertidos em capacidade diária.

TABELA 7 - Custo diário da hora extra convertido em capacidade.

Setor	Capacidade	Custo diário hora extra	Custo adicional de hora extra	Custo diário da capacidade	Custo adicional em capacidade
Costurar	5	5,55	27,75	8,3	3
Encapar	3	5,55	16,65	8,3	2
Estofar	5	5,55	27,75	8,3	3

Fonte: O autor.

Desta forma, o custo adicional de hora extra pode ser evitado a partir de contratação ou realocação de mão de obra visto que seu valor supera o custo em capacidade. Assim o gasto em hora extra é um total diário de oito vezes em termos de capacidade, ou seja, poderia ser contratado até oito pessoas em termos de dias que o custo de mão de obra continuaria o mesmo.

2.10 Projeto Experimental

Na etapa do projeto experimental a meta é atingir o objetivo do projeto de simulação. Para nivelar a capacidade foram realizados experimentos que resultaram na capacidade ideal de

cada processo para realizar o planejamento da demanda na produção durante o funcionamento normal (500 minutos).

A tabela 8 representa um comparativo do sistema com o modelo do projeto experimental em relação à capacidade.

TABELA 8 - Comparativo da capacidade entre sistema e projeto experimental.

Capacidade		
Atividade	Sistema	Projeto Experimental
Montar Esqueleto	4	4
Lixar	1	1
Colar Espuma	2	1
Cortar Tecido	2	1
Costurar	5	6
Encapar	3	4
Estofar	5	8
Embalar	1	1
Total sem hora extra	23	26
Total com hora extra	31	26

Fonte: O autor.

A tabela 8 permite fazer melhores comparações, no processo colar espuma e cortar tecido, uma de suas capacidades podem ser realocadas para os setores de costurar, ou encapar, ou estofar. No sistema o total da capacidade é 23, mas com a adição do custo da capacidade devido à hora extra, como visto anteriormente com o valor de oito, esse número passa a 31. Para melhor entendimento, caso o valor do custo da capacidade seja igual a R\$ 1500,00 por mês, o custo da produção em termos de capacidade da mão de obra seria igual a R\$ 46500,00 por mês.

No projeto experimental o total da capacidade passa a ser 26, sem adição de qualquer hora extra. Seguindo o mesmo raciocínio anterior, caso o valor do custo da capacidade seja R\$ 1500,00 mensais, o custo da produção em termos de capacidade seria igual a R\$ 39000,00 havendo uma economia mensal de R\$ 7500,00 reais.

Este mesmo valor projetado em um horizonte de um ano, equivaleria a uma economia de R\$ 90000,00, valor que pode ser considerado importante comparado ao tamanho do setor em relação a toda indústria.

3 CONCLUSÃO

Por meio da simulação de eventos discretos foi possível avaliar cenários de forma preliminar para possíveis melhorias no desempenho da produção no setor de estofados de uma fábrica de móveis da cidade de Rodeiro. Nesta direção, foram coletados dados para desenvolver um modelo e tomar decisão com finalidade de justificar todas as modificações e sem interferir ou perturbar o sistema durante a avaliação. Este modelo ainda, pode ser utilizado para planejar a produção de acordo com a real capacidade e estimular metas exequíveis.

A simulação computacional de eventos discretos, permitiu avaliar não somente dentro do contexto teórico mas também prático, avaliação desempenho de sistemas, conhecimento prático dos processos, troca de ideias e conhecimento, além de ser uma atividade na qual é desempenhada em grupo, apesar da modelagem ser computacional, nada substitui a decisão do ser humano. Assim o trabalho em equipe é fator crucial para o sucesso de projeto de simulação.

Então, a partir dos resultados foi possível avaliar a alocação de mão de obra para cada processo com finalidade de atender à demanda e reduzir o custo de operação, é possível também analisar custos de energia, alimentação e transporte dos funcionários já que a hora extra há adicional nos mesmos. Dentro deste aspecto é factível analisar a questão sindical, visto que o sistema tem a necessidade de execução de hora extra, minimizando também, entraves com a legislação trabalhista.

Para a sequência desta pesquisa é aconselhável automatizar a atividade de coleta de dados para tornar possível, uma melhor avaliação da variabilidade da execução dos processos e tornar o tempo de análise compatível com o tempo de planejamento. Dentro deste contexto é possível também inferir novas variáveis como falhas em equipamentos e retrabalho.

Vale ainda ressaltar que a simulação não é muito difundida em empresas de pequeno e médio porte. Esse aspecto sendo avaliado dentro do contexto das empresas brasileiras, em que este porte de empresas são os maiores responsáveis pelo desenvolvimento do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro, futuras pesquisas que visam minimizar o custo desta técnica para a implementação, pode ser tornar um fator para o sucesso empresarial brasileiro.

E por fim, com a realização deste trabalho foi possível avaliar os tópicos que devem ser melhorados, como estatística e linguagens computacionais, para futuros projetos da área estudada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATEMAM, R. E. *et al.* **Simulação de sistemas**: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p. 200.

BOTTER, R. C. **Tratamentos de dados em modelos de simulação discreta**. 2002. 147 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CHWIF, L; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos**: teoria e aplicações. 3. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2010. p. 309.

FREITAS FILHO, P. José de. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em arena**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008. p. 384.

GALINARI, R.; TEIXEIRA JUNIOR, J. R.; MORGADO, R. R. **A competitividade da indústria de móveis do Brasil**: situação atual e perspectivas. BNDS Setorial, 2013 p 227-272. Disponível em:
<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Tipo/BNDES_Setorial/201303_06.html>. Acesso em: 12 nov. 2014.

MARTINS, Petrônio; LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2005. p.562.

MESQUITA, M. A. Previsão de demanda. *In*: LUTOSA, L. *et al.* **Planejamento e controle de produção**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. Cap 4, p. 51-76.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. p. 521.

MÓVEIS RUFATO LTDA. Disponível em:<www.moveisrufato.com.br> Acesso em 12 nov. 2014.

PRADO, Darci Santos do. **Teoria das filas e simulação**. 4. ed. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2009. p. 127. v. 2.

PRADO, Darci Santos do. **Usando arena em simulação**. 4. ed. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2010. p. 307. v. 3.

**APÊNDICE – MODELO COMPUTACIONAL DO ESTUDO DE CASO, NA
LINGUAGEM DE SIMULAÇÃO DO SOFTWARE ARENA®**

