

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

MICHELL EDUARDO DALLABRIDA

**SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA DINÂMICA OPERACIONAL DO
PROCESSO DE PINTURA DE CADEIRAS EM UMA INDÚSTRIA
MOVELEIRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2014

MICHELL EDUARDO DALLABRIDA

**SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA DINÂMICA OPERACIONAL DO
PROCESSO DE PINTURA DE CADEIRAS EM UMA INDÚSTRIA
MOVELEIRA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação, em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Medianeira, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. José Airton Azevedo dos Santos
Co-Orientadora Profa. Dra. Carla Adriana Pizarro Schmidt.

MEDIANEIRA

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA DINÂMICA OPERACIONAL DO PROCESSO DE
PINTURA DE CADEIRAS EM UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA

Por

MICHELL EDUARDO DALLABRIDA

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado às 16h:40min do dia 27 de novembro de 2014 como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho de diplomação aprovado.

Prof. Dr. José Airton dos Santos
Orientador
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^a. Dr^a. Carla Adriana Pizarro Schmidt
Co-orientadora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Me Milton Soares
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Carlos Aparecido Fernandes
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Me. Neron Alípio Cortes Berghauser
Coordenador de Curso
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico este trabalho a Deus, a meus pais,
meu irmão pois me ajudaram a chegar onde estou.
Dedico também a meus orientadores que ajudaram
em minha formação profissional e principalmente
na conclusão desta monografia.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar saúde, força e iluminar meu caminho, para usar os obstáculos atravessados como soluções das dificuldades encontradas.

Aos meus pais Sergio Dallabrida, Salete Padilha Dallabrida e meu irmão Jhonattan Douglas Dallabrida, pela educação, orientação, dedicação e incentivo durante toda a vida e principalmente nesta fase do curso de graduação.

A meu orientador Dr. José Airton Azevedo dos Santos e minha Co-Orientadora Dra. Carla Adriana Pizarro Schmidt pelas orientações e paciência ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos professores do curso de engenharia de produção da UTFPR, Campus Medianeira, pois foram amigos e contribuíram em minha formação profissional.

Agradeço a minha namorada Francieli Primaz que me incentivou e até me policiou para a finalização do trabalho.

A empresa que foi essencial para realizar o estudo desenvolvido, abrindo as portas para a coleta dos dados necessários.

Agradeço ao meu amigo Matheus de Lima Goedert pela disposição e força na realização do trabalho.

Enfim, sou grato a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização desta monografia.

"Há mais pessoas que desistem, do que
pessoas que fracassam!" (HENRY FORD)

RESUMO

DALLABRIDA, Michell Eduardo. **Simulação E Otimização Da Dinâmica Operacional Do Processo De Pintura De Cadeiras Em Uma Indústria Moveleira.** 2014. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Este trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica operacional do processo de pintura de uma indústria moveleira localizada na região oeste paranaense. Objetiva-se também através da associação dos conceitos de simulação e otimização dimensionar a linha de pintura da indústria para um acréscimo de 50% na produção de cadeiras. A simulação e a otimização foram executadas utilizando o pacote de simulação Arena®, que inclui o software de otimização *Optquest*. A metodologia utilizada é a de modelagem através de simulação computacional, de caráter quantitativo e é caracterizada como participativa. A aplicação destas técnicas em conjunto resultaram na otimização do número de funcionários do setor de pintura da indústria moveleira.

Palavras-chave: Arena®; Indústria Moveleira; Simulação; Otimização.

ABSTRACT

DALLABRIDA, Michell Eduardo. **Simulation And Optimization Of Dynamic Operating Process Of Painting On A Chair Furniture Industry**. 2014. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

This work aims to analyze the operational dynamics of a painting furniture industry located in western Paraná region. The purpose is also through the association of the concepts of simulation and optimization to scale the line painting industry for an increase of 50% in the production of chairs. The simulation and optimization were performed using the Arena® simulation package, which includes optimization software OptQuest. The methodology used is that of modeling through computer simulation of quantitative trait and is characterized as participatory. The application of these techniques together resulted in the optimization of the number of employees of the paint sector of the furniture industry.

Keywords: Arena®; Furniture Industry; simulation; optimization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de trabalho do Ambiente Arena®	18
Figura 2 – Output Analyzer	19
Figura 3 – Optquest	19
Figura 4 – Formas de classificação da pesquisa	20
Figura 5 – Fluxograma do sistema	22
Figura 6 – Cadeira produzida pela empresa	22
Figura 7 – Otimização em Simulação	25
Figura 8 – Intervalo de confiança – TPLC	28
Figura 9 – Modelo computacional	29
Figura 10 – Resultados obtidos de simulação	29
Figura 11 – Resultados obtidos do Optquest	31

LISTA DE SIGLAS

APL - Arranjo Produtivo Local.

TTCD - Tingimento da Cadeira Deitada.

TTCP - Tempos de Tingimento da Cadeira de Pé.

TFT - Tempos de Finalização do Tingimento.

TSL - Tempos de Selagem.

TL - Tempos de Lixa.

TV - Tempos de Verniz.

SE - Erro médio Estimado.

SR - Valor obtido a partir do sistema Real.

MD - Média dos valores gerados pelo modelo.

GLR - Grau de Liberdade considerando o número de Replicações do modelo.

TPLC - Tempo do Processo de Pintura de um Lote de Cadeiras.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de dados	27
Tabela 2 – Distribuições de probabilidade	28
Tabela 3 – Dados do sistema real e do modelo	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	133
2.1 INDÚSTRIAS MOVELEIRAS	Erro! Indicador não definido. 3
2.2 SIMULAÇÃO... ..	14
2.2.1 Vantagens e Desvantagens da Simulação.....	Erro! Indicador não definido. 5
2.2.2 Áreas de Simulação	16
2.3 . ARENA®	17
3 MATERIAIS E METODOS	20
3.1 TIPO DE PESQUISA.....	20
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	2 Erro! Indicador não definido.
3.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	2 Erro! Indicador não definido.
3.4 COLETA DE DADOS	23
3.5 NÚMERO DE REPLICAÇÕES	23
3.6 TAMANHO DA AMOSTRA.....	24
3.7 VALIDAÇÃO DO MODELO	24
3.8 OTIMIZAÇÃO	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 VALIDAÇÃO DO MODELO	28
4.2 SIMULAÇÃO	29
4.3 OTIMIZAÇÃO Optquest	30
5 CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A indústria moveleira pode ser considerada uma das mais antigas do mundo. Derivada da produção artesanal, com a revolução industrial passou a utilizar máquinas e ferramentas visando obter economias de esforço e tempo. Os avanços proporcionados pela industrialização permitiram a padronização e os ganhos de economia de escala, de maneira que os móveis deixaram de ser produtos artesanais para se tornarem produtos manufaturados. Sendo assim, a indústria de móveis é classificada como uma indústria tradicional, com tecnologia de produção consolidada e amplamente difundida (LOUREIRO, 2011).

A elevada competitividade do setor moveleiro é uma das principais razões para que as mesmas busquem formas estratégicas baseadas na organização da produção para sobreviver no mercado atual, altamente competitivo. A indústria de móveis caracteriza-se pelo agrupamento de diversos processos de produção, envolvendo diferentes matérias-primas e uma diversidade de produtos finais,

Independente da lógica que utilizem, os sistemas de administração da produção, para atingirem seus objetivos e cumprirem seu papel de suporte, dos objetivos estratégicos da organização, devem ser capazes de apoiar e dar ferramentas aos tomadores de decisões (CORRÊA et al., 1997).

As empresas de pequeno porte, geralmente não possuem ferramentas que auxiliem na gestão da tomada de decisão no âmbito produtivo, sendo as decisões muitas vezes tomadas pelo conhecimento heurístico dos seus proprietários. Uma decisão errada por parte destes pode acarretar em perdas financeiras, comprometer a imagem da empresa perante seus clientes/fornecedores, gerar desperdício e retrabalho.

Uma alternativa para ajudar na tomada de decisão são as ferramentas de simulação. As ferramentas de simulação adéquam o funcionamento de um sistema qualquer a possíveis variações em seus elementos constituintes ou em suas condições normais de operação. A simulação gera informações bastante precisas, levando à avaliação de vários cenários, permitindo, sobretudo, decisões satisfatórias. Com ela, o gestor, através de um modelo computacional, imita o modelo real do fluxo de produção, com informações sobre recursos e tempos da produção. Com uma modelagem adequada do sistema, obtêm-se resultados rápidos

e relativamente precisos sobre número de unidades produzidas, tamanho das filas de espera, taxa de utilização dos recursos, tempo de fluxo, dentre outros (BANKS, 1998).

O termo *Simulation with Optimization* originou-se da combinação entre as técnicas de simulação e otimização (CHWIF & MEDINA, 2007): Estes autores também afirmam que Simulação com Otimização é uma otimização onde o desempenho é a saída do modelo de simulação.

A otimização é o processo de tentar diferentes combinações de valores para variáveis que podem ser controladas, buscando aquela que provê a saída mais desejada de um modelo de simulação. Existem atualmente vários softwares que permitem a realização da otimização a partir de uma simulação. Dentre eles, pode-se citar: AutoStat, OptQuest, OPTIMIZ, SimRunner® e WITNESS Optimizier, que fazem parte de pacotes comerciais onde também está incluso o módulo de simulação (CHWIF & MEDINA, 2007).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar por meio de técnicas de simulação e otimização a dinâmica operacional do processo de pintura de cadeiras em uma pequena empresa da região oeste do Paraná. Será utilizado como ferramenta computacional o software Arena®, da Rockwell Software Corporation, por ser um dos softwares de simulação discreta mais utilizado no mundo empresarial e acadêmico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INDÚSTRIAS MOVELEIRAS

A indústria moveleira pode ser considerada uma das mais antigas do mundo, pois deriva dos carpinteiros e artesãos produtores de móveis, que com a revolução industrial passaram a utilizar máquinas e ferramentas visando obter economias de esforço e tempo. Os avanços proporcionados pela industrialização permitiram a padronização e os ganhos de escala, de maneira que os móveis deixaram de ser produtos artesanais para se tornarem produtos industrializados.

Dada esta trajetória de desenvolvimento, a indústria de móveis é classificada, atualmente, como uma indústria tradicional, com tecnologia de produção consolidada e amplamente difundida. Por sua vez, o dinamismo tecnológico desta indústria é determinado pelo aprimoramento do design, pelas máquinas e equipamentos utilizados no processo produtivo e pela introdução de novos materiais.

Segundo Ferreira et al. (2008), as indústrias moveleiras são diferenciadas por diversos critérios: matéria-prima mais utilizada para a fabricação dos móveis, finalidade dos produtos, configuração organizacional empregada no método produtivo e o tipo e formato dos móveis tanto os retilíneos como os arredondados. Ainda Ferreira et al. (2008) cita os principais particularidades das indústrias moveleiras.

“Quanto ao tipo de matéria-prima utilizada, destacam-se: a) móveis de madeira, que podem ser subdivididos em madeira maciça (nativa ou reflorestada) e painéis de madeira reconstituída; b) móveis de metal; c) móveis de plástico; e d) móveis estofados.”

As indústrias moveleiras são divididas nas, que produzem em série ou sob encomenda, existindo vantagens e desvantagens em cada uma delas, as indústrias que produzem em série tem um auto grau de tecnologia podendo produzir grandes quantidades em pouco tempo. Com seus custos de produção reduzidos, fazem

móveis mais comuns e padronizados, já as indústrias sob encomenda são o oposto sendo na maioria delas empresas de pequeno porte, marcenarias, produzem com auto valor agregado, podendo satisfazer as necessidades do cliente, produzindo móveis dos mais variados tipos, formas, cores e tamanhos, são mais requisitados pelas classes sociais média e alta, pela qualidade e diversificação dos produtos (PIVA, 2006).

No setor moveleiro, além das inovações de caráter tecnológico, também se destacam as inovações organizacionais. Muitas empresas deste setor têm adotado estratégias que modificam a sua estrutura organizacional, gerando maior flexibilidade produtiva, redução de custos e criação de novas capacitações técnicas e de marketing. Dentre as principais mudanças organizacionais destacam-se: o aprofundamento das relações de subcontratação, fazendo as empresas se concentrarem em suas atividades nucleares, e o desenvolvimento de ações coletivas de caráter cooperativo com fornecedores, clientes, concorrentes ou instituições de apoio. Quando estas inovações organizacionais são introduzidas por diversas empresas de uma mesma localidade, que concentra um número expressivo de empresas, as transformações são amplificadas, transformando esta concentração empresarial em um dinâmico APL - Arranjo Produtivo Local (FERREIRA, 2008).

2.2 SIMULAÇÃO

Para Paragon (2005), a simulação é definida como:

“a técnica de estudar o comportamento e reações de um determinado sistema através de modelos que imitam na totalidade, ou em parte, as propriedades e comportamentos deste sistema em uma escala menor, permitindo sua manipulação e estudo detalhado”.

Simular é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital (PRADO, 2010).

Segundo Prado (2010), face a estas exigências e a ampla diversidade dos sistemas, de produção, a modelagem é extremamente complexa e de difícil tratamento analítico.

A simulação não se resume apenas na construção de um modelo, trata-se de um processo amplo que busca descrever o comportamento do sistema construir teorias e levantar hipóteses a respeito do que foi observado, prever efeitos sobre qualquer alteração feita no sistema ou nos métodos empregados na operação, como exemplo saber como a contratação de mais um funcionário para um setor irá aumentar a capacidade de produção (FREITAS FILHO, 2008 *apud* ALVES, 2012).

2.2.1 Vantagens e Desvantagens da Simulação

As vantagens principais da simulação são:

- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de negócio, fluxos de informação, etc..., podem ser estudadas sem se alterar o mundo real.
- Novos equipamentos, layouts, sistemas de transporte, etc..., podem ser testados sem se comprometer recursos na sua aquisição.
- Hipóteses sobre como e porque certos fenômenos ocorrem podem ser testados visando verificar sua praticabilidade.
- O tempo pode ser comprimido ou expandido permitindo acelerar ou retardar o fenômeno sob investigação.
- Pode-se entender melhor a participação das variáveis na performance do sistema.
- Um modelo de simulação pode ajudar a entender como um sistema funciona como um todo, em relação a como se pensa que o sistema opera individualmente.
- Questões do tipo “e se...” podem ser respondidas. Isto é extremamente útil na fase de design de um projeto.

As desvantagens a serem consideradas são:

- A construção de Modelos de Simulação requer treinamento especial. É um a arte que é aprendida com tempo e experiência. Além disto se 2 modelos são

construídos por 2 profissionais competentes, eles terão semelhanças, mas será altamente improvável que sejam iguais.

- Os resultados de uma Simulação podem ser difíceis de interpretar. Como a maioria das saídas de uma simulação são variáveis aleatórias (elas estão normalmente baseadas em entradas aleatórias), é difícil determinar se uma observação é o resultado do relacionamento entre as variáveis do sistema ou consequência da própria aleatoriedade.
- A construção e análise de Modelos de Simulação pode consumir muito tempo e, como consequência, muito dinheiro. Economizar por sua vez pode levar a modelos incompletos.
- A Simulação é usada em muitos casos onde uma solução analítica é possível.
- A simulação não dá resultados exato.

2.2.2 Áreas de Simulação:

Existem inúmeras áreas de aplicação da simulação. A seguir estão listadas algumas das mais importantes (PRADO, 2010):

- Simulação das operações de uma companhia aérea para testar alterações em seus procedimentos operacionais.
- Simulação da passagem do tráfego em um cruzamento muito grande, onde novos sinais estão para ser instalados.
- Simulação de operações de manutenção para determinar o tamanho ótimo de equipes de reparo.
- Simulação de uma siderúrgica para avaliar alterações nos seus procedimentos operacionais.
- Simulação da economia de um setor de um país para prever o efeito de mudanças econômicas.
- Simulação de batalhas militares visando avaliar o desempenho de armas estratégicas.

- Simulação de sistemas de distribuição e controle de estoque, para melhorar o funcionamento destes sistemas.
- Simulação de uma empresa como um todo para avaliar o impacto de grandes mudanças ou como treinamento para seus executivos. (*Business Games*).
- Simulação de sistemas de comunicações para determinar o que é necessário para fornecer um determinado nível de serviço.
- Simulação de uma barragem em um determinado rio para avaliar os problemas advindos com a sua construção.
- Simulação de uma linha de produção em determinada indústria, para avaliar efeitos de mudanças previstas no processo produtivo.

2.3. ARENA®

Entre as ferramentas de simulação existentes no mercado, tem-se o software Arena®, que é um ambiente que engloba lógica e animação como instrumentos de análise. A parte lógica envolve a montagem do programa pela utilização de comandos do Arena®; e a parte de animação consiste na introdução de desenhos e símbolos que representam as estações de trabalho e as trajetórias destas entidades.

De acordo com a empresa Paragon (2005), o programa nasceu em 1993, pela integração das linguagens SIMAN e CINEMA em um ambiente único de simulação. O SIMAN é uma linguagem desenvolvida para computadores pessoais (PCs) inspirada na linguagem GPPS usada em computadores de grande porte, de 1982. O pacote de simulação CINEMA, de 1990, integrado ao SIMAN apresenta uma representação animada do funcionamento do sistema.

No processo de modelagem utilizando o simulador Arena®, o modelo é programado e codificado com base na linguagem de simulação SIMAN através da seleção dos módulos que contêm as características dos meios a serem modelados, como, a entrada de um produto (*Módulo Create*), o seu processamento (*Módulo Process*) e sua saída do processo (*Módulo Dispose*) (SAKURA; MIYAKE, 2009 *apud* ALVES, 2012).

Na Figura 1 apresenta-se o ambiente de trabalho do software Arena®.

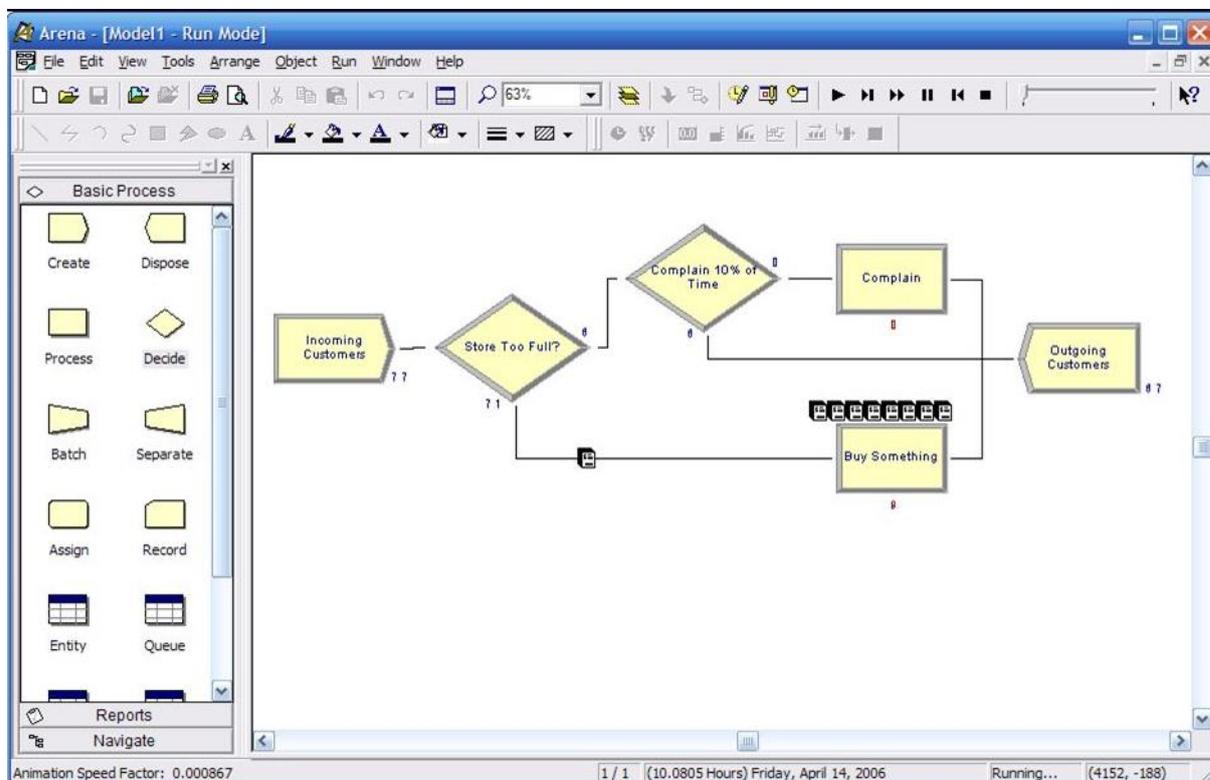


Figura 1. Área de trabalho do Ambiente Arena®

Fonte: Alves, 2012.

O pacote Arena® disponibiliza outras ferramentas que são úteis ao processo de modelagem e simulação: o *Input Analyzer* realiza a análise estatística dos dados de entrada do sistema e permite determinar a distribuição que mais se ajusta aos dados, baseando-se em testes estatísticos como o Qui-Quadrado e o Kolmogorov-Smirnov; o *Output Analyzer* (Figura 2) realiza a análise estatística dos resultados da simulação. O *OptQuest* é um módulo otimizador (Figura 3). Ele realiza múltiplas análises e verifica alternativas para os parâmetros do sistema especificado.

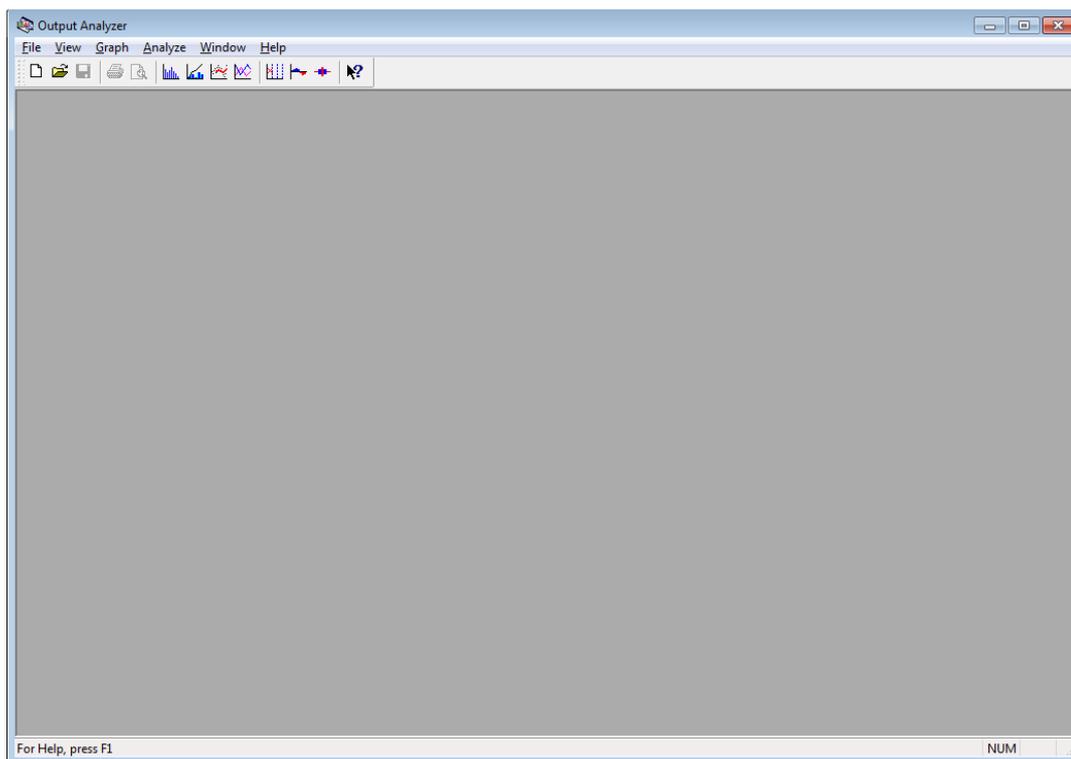


Figura 2. *Output Analyzer*.
Fonte: Alves, 2012.

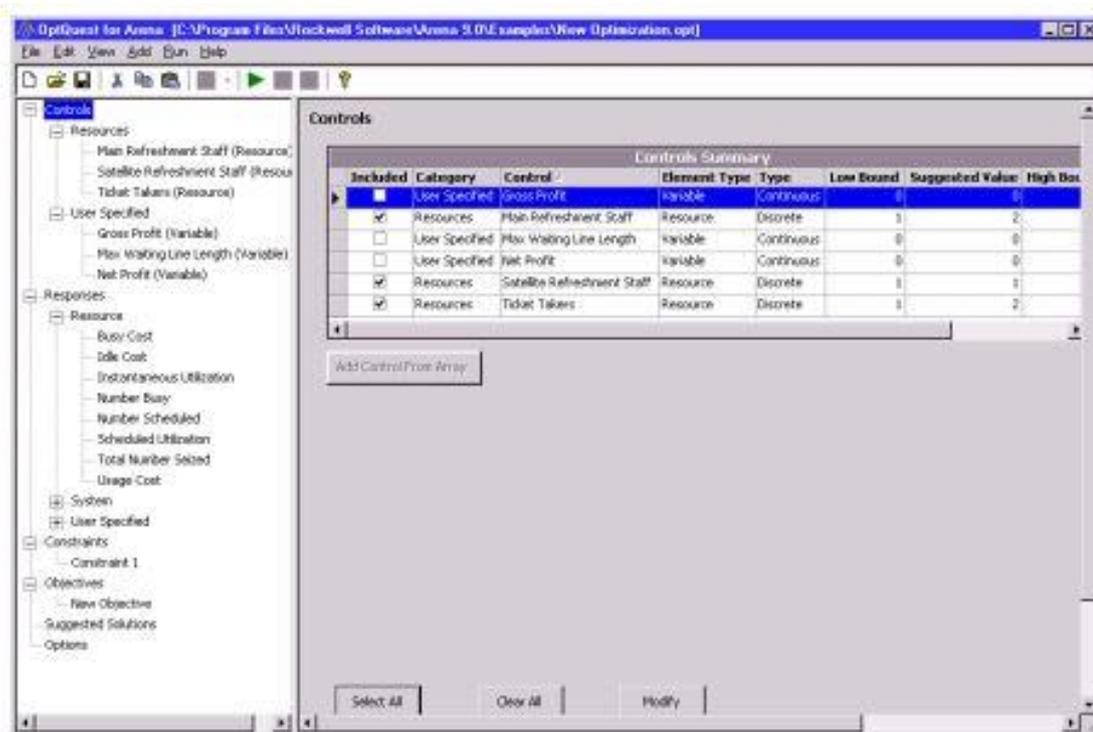


Figura 3. *OptQuest*.
Fonte: Alves, 2012.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 TIPO DE PESQUISA

A metodologia utilizada neste estudo pode ser classificada quanto ao tipo de pesquisa, a população amostra, a coleta e a análise dos dados. Desta forma serão apresentados os passos que foram seguidos para realização do trabalho.

A pesquisa pode ser classificada de acordo com sua natureza, com os objetivos, com a forma de abordagem do problema e com os procedimentos técnicos que serão adotados. A Figura 4 apresenta todos estes tipos de classificações.

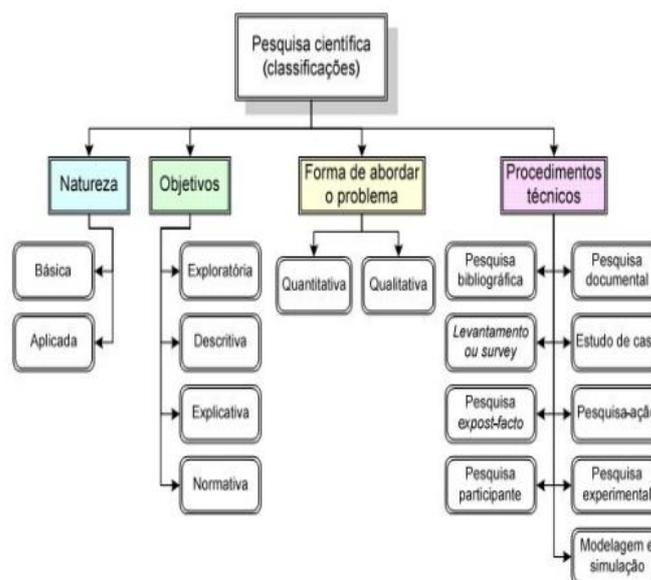


Figura 4: Formas de classificação da pesquisa.

Fonte: SILVA MENEZES,(2005)

A classificação quanto ao tipo de pesquisa científica pode ser subdividida de acordo com a natureza, sendo para este estudo aplicada, pois seus resultados são aplicados à resolução de problemas reais enfrentados pela empresa em estudo. Quanto aos objetivos é descritiva, pois tem como objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno. Quanto à forma de abordar o problema pode ser considerada quantitativa, pois os dados obtidos (cronometrados) no sistema real foram, em seguida, tratados estatisticamente. E de acordo com os procedimentos técnicos como modelagem e simulação, uma pesquisa operacional.

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

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

Fundada em 1966 na região Oeste do Paraná, a empresa em estudo iniciou suas atividades voltada para o beneficiamento, indústria, comércio, exportação e importação de madeiras nobres, sendo co-atuante na colonização e desenvolvimento da região oeste do Paraná.

Na década de 90, num movimento de expansão e adequação à nova realidade do mercado mundial, a empresa começa a produzir móveis, através de uma sofisticada e moderna linha de salas de jantar. Em poucos anos estendeu seu portfólio que apresenta cadeiras, poltronas e mesas.

Hoje a empresa, atua fortemente em todas as regiões brasileiras, principalmente na região de Santa Catarina e São Paulo. Suas vendas ocorrem por intermédio de representantes e diretamente por clientes (BONATTO, 2013).

3.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O processo, em estudo, inicia com a chegada das cadeiras na zona limpa da indústria, no processo de tingimento. Neste processo as cadeiras são tingidas através de uma pistola manual. Depois de tingidas as cadeiras passam pelo processo de selagem. Neste processo recebem um selador, também através de pistola manual. Na sequência as cadeiras passam pelos processos de secagem e lixação. Na lixação são realizadas somente ações corretivas. Finalmente, as cadeiras passam pelos processos de aplicação de verniz e secagem. O verniz é aplicado com o objetivo de dar proteção e resistência ao produto.

Atualmente, o setor de pintura conta com 7 funcionários: 4 no setor de lixa, 1 no setor de tingimento, 1 no setor de selagem e 1 no setor de aplicação de verniz.

Na Figura 5 apresenta-se o fluxograma do processo de pintura de cadeiras.

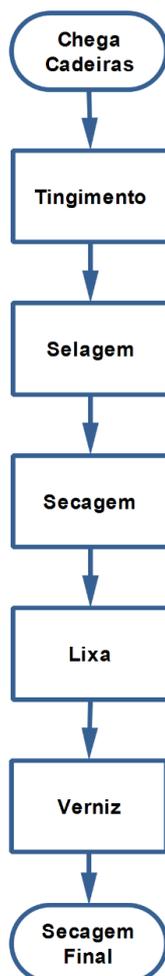


Figura 5: Fluxograma do sistema.

Fonte: O Autor.

Cadeiras:

Em 2012/2013 as vendas de cadeiras representaram aproximadamente 20% do faturamento total da empresa.

Na Figura 6 apresenta-se uma cadeira tipo A produzida na empresa.



Figura 6: Cadeira produzida pela empresa.

Fonte: BONATO (2013).

Definiu-se o estudo de simulação, no processo de pintura de cadeiras tipo A, devido a importância deste produto no faturamento da empresa.

3.4 COLETA DE DADOS

A coleta de dados é uma parte fundamental do processo de simulação, pois um insucesso nesta etapa compromete todo o trabalho. Por isso, neste trabalho, foi dada atenção especial a esta etapa.

A coleta de dados foi realizada de forma direta por observação das atividades que compõem o processo de pintura de cadeiras da indústria e coletado os tempos com a utilização de um cronometro simples. No planejamento, da coleta de dados, concluiu-se que seria necessário determinar as seguintes variáveis: Tempos de Tingimento da Cadeira Deitada (TTCD); Tempos de Tingimento da Cadeira de Pé (TTCP); Tempos de Finalização do Tingimento (TFT); Tempo de Secagem (30 minutos); Tempos de Selagem (TSL); Tempos de Lixa (TL) e Tempos de Verniz (TV).

Os dados foram analisados com a ferramenta *Input analyzer* (analisador de dados de entrada) do software Arena®. Segundo Prado (2009) esta ferramenta permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles.

A simulação da dinâmica operacional do processo de pintura foi realizada no software Arena®, e os resultados analisados nas ferramentas *Output Analyzer* e *Process Analyzer*.

3.5 NÚMERO DE REPLICAÇÕES:

Neste trabalho, o número de replicações (n^*) foi obtido através da Equação (1) (CHWIF & MEDINA, 2007):

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

onde:

n: número de replicações já realizadas;

h: semi-intervalo de confiança já obtido;

h*: semi-intervalo de confiança desejado.

3.6 TAMANHO DA AMOSTRA

O tamanho de cada uma das seis amostras, cronometradas neste trabalho, foi obtida para um nível de confiança de 95%, através da Equação (2) (MARROCO, 2003):

$$n_A = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \times S}{E} \right)^2 \quad (2)$$

onde:

n_A : número de indivíduos da amostra;

$Z_{\alpha/2}$: valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

S: desvio padrão;

E: erro máximo estimado.

3.7 VALIDAÇÃO DO MODELO:

No processo de validação são comparados os resultados reais aos simulados. Este processo será realizado através do cálculo do erro médio estimado (Equação (3)):

$$SE = \sqrt{\frac{(SR - MD)^2}{GLR}} \quad (3)$$

onde:

SE – erro médio estimado;

SR – valor obtido a partir do sistema real;

MD – média dos valores gerados pelo modelo;

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

Observa-se que quanto menor o erro médio estimado mais ajustados estão os resultados do modelo com os resultados reais.

3.8 OTIMIZAÇÃO

Para Fu (2002), na interação entre simulação e otimização, a última deve ser vista como uma ferramenta complementar à simulação. Neste processo, a otimização fornece as variáveis de uma possível solução (*inputs*) à simulação; esta, após todo o processo de simulação, fornece respostas (*outputs*) para a situação proposta, que retornam à otimização.

A otimização gera novas variáveis, utilizando técnicas específicas, que serão novamente testadas pela simulação. Este ciclo (Figura 7) é repetido até sua parada, definida de acordo com o método de otimização utilizado.

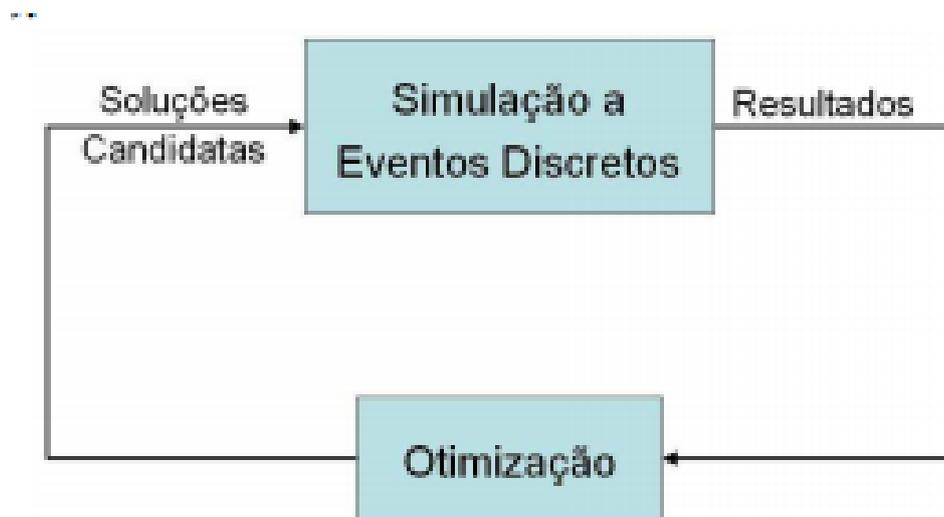


Figura 7: Otimização em simulação.

Fonte: FU(2002).

A combinação entre simulação e otimização faz com que as respostas sejam mais eficientes, possibilitando uma melhor tomada de decisão.

Geralmente as metodologias de otimização em simulação partem de um modelo já existente e validado. O primeiro passo é a definição das variáveis de decisão, ou seja, as variáveis que afetam a função objetivo do problema. Em seguida se define a função objetivo, que pode ser de maximização ou minimização, cujo resultado será avaliado pelos algoritmos de otimização na busca de um valor

ótimo. O passo seguinte é a definição das restrições do problema seguido pela configuração de alguns parâmetros, como: número de replicações, precisão e critério de parada (SILVA, 2005).

Elementos de modelo de otimização:

Controles

Controles são variáveis ou recursos no modelo sobre os quais tem-se controle, tais como, por exemplo, número de funcionários em um determinado setor da empresa. Controles são selecionados dos recursos e variáveis definidas no modelo Arena. O modelo de otimização é formulado em termos do controle selecionado. Os valores de controle são mudados antes de cada simulação, isto é feito para encontrar os melhores valores dentro do limite de tempo estipulado.

Restrições

As restrições definem as relações entre controles e/ou respostas. Por exemplo, uma restrição poderia ser que o tempo de simulação não pode-se ultrapassar oito horas.

Objetivo

Cada modelo de otimização tem uma função objetivo que matematicamente representa as metas do modelo, o objetivo é maximizar ou minimizar essa quantidade. O OptQuest trabalha para encontrar o valor ótimo do objetivo por selecionando e encontrando diferentes valores para os controles.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foi realizada uma avaliação descritiva completa dos dados coletados no software Statistica® versão 10. A Tabela 1 apresenta os dados coletados no processo de pintura de cadeiras.

Tabela 1 – Análise de dados

Parâmetro analisado	TTCD (s)	TTCP (s)	TFT (s)	TSL (s)	TL (s)	TV (s)
Pontos	30	30	30	30	30	30
Mínimo	24,06	47,31	35,1	102,00	243,40	55,86
Máximo	36,37	70,46	63,00	129,91	490,75	123,74
Média	30,15	60,38	48,78	116,46	371,36	86,02
Mediana	29,64	61,51	47,38	118,01	374,23	83,3
Moda	29,31	63,00	44,46	118,55	308,86	76,57
Desvio Padrão	2,78	6,19	8,05	7,35	62,16	15,39
Coef. de Variação (%)	9,22	10,25	16,45	6,31	16,74	17,90

Observa-se, através dos dados apresentados na Tabela 1, que a variável TL (Tempos de Lixa) apresentou a maior mediana e a maior média entre os dados coletados no processo de pintura de cadeiras. Já os coeficientes de variação para as seis variáveis coletadas foram 9,22%, 10,25%, 16,45%, 6,31%, 16,74% e 17,90%. Segundo Pimentel Gomez (2000), nos experimentos de campo, se o coeficiente de variação for inferior a 10% tem-se um coeficiente de variação baixo, de 10 a 20% médio, de 20 a 30% alto e acima de 30% muito alto.

Após a realização da análise descritiva, o passo seguinte foi determinar as curvas de distribuição teórica de probabilidades que melhor representem o comportamento estocástico do sistema em estudo, através da ferramenta *Input Analyzer* do Arena®. Como os *p-values* dos testes de aderência: teste Chi Square e do teste Kolmogorov-Smirnof são maiores que o nível de significância adotado (0,1) (CHWIF & MEDINA, 2007), concluiu-se que as distribuições, apresentadas na Tabela 2, são as expressões que melhor se adaptaram aos dados coletados no sistema.

Tabela 2: Distribuições de probabilidade.

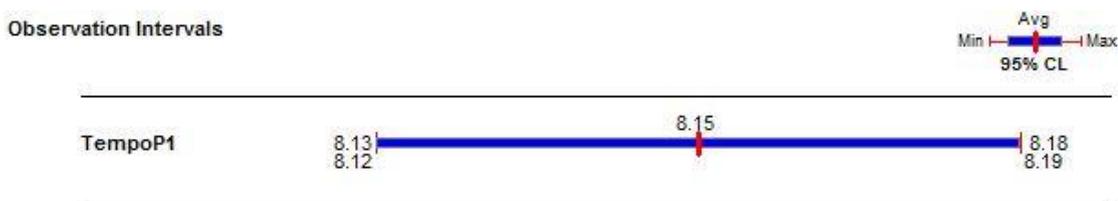
Itens	Distribuição	Chi Square	Kolmogorov-Smirnov
TTCB	24+WEIB(6.81,2.15)	<i>p-value</i> =0,343	<i>p-value</i> =0,5
TTCP	TRIA(47,64,72.5)	<i>p-value</i> =0,88	<i>p-value</i> =0,467
TFT	UNIF(35.1,63)	<i>p-value</i> =0,717	<i>p-value</i> =0,664
TSL	TRIA(101,118,132)	<i>p-value</i> =0,63	<i>p-value</i> =0,971
TL	243+WEIB(141,1.92)	<i>p-value</i> =0,276	<i>p-value</i> =0,669
TV	55+WEIB(34.9,2.07)	<i>p-value</i> =0,221	<i>p-value</i> =0,648

4.1 VALIDAÇÃO DO MODELO

Inicialmente, a validação, do modelo computacional, foi realizada por meio da técnica face a face onde o modelo foi executado para os funcionários da indústria moveleira que o consideraram correto (SARGENT, 1998). Na sequência realizou-se uma comparação (Tabela 3) entre a média obtida do sistema real com a média gerada pelo modelo (Figura 8) para a variável Tempo do processo de pintura de um lote de cadeiras (TPLC) (80 cadeiras). Nesta tabela apresenta-se o erro médio estimado (SE).

Tabela 3 – Dados do sistema real e do modelo

Tempo de Pintura – TPLC (h)		
Sistema Real	Modelo Computacional	SE
7,5	8,15±0,0332	0,0325



Classical C.I. Intervals Summary						
IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.950 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
TempoP1	8.15	0.0208	0.0332	8.13	8.18	4

Figura 8: Intervalo de confiança – TPLC.

Fonte: O Autor.

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

4.2 SIMULAÇÃO

Na Figura 9 apresenta-se o modelo computacional do processo de pintura.

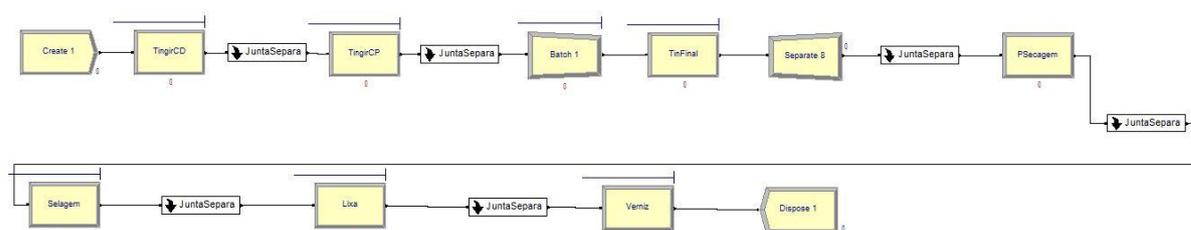


Figura 9: Modelo computacional.

Fonte: O Autor.

Inicialmente, com o objetivo analisar o número de funcionários do setor de lixa foram simulados, por meio do software Arena®, três cenários:

Cenário 1: Processo de Lixa com 6 lixadores;

Cenário 2: Processo de Lixa com 4 lixadores (Cenário atual);

Cenário 3: Processo de Lixa com 2 lixadores.

Na Figura 10 apresentam-se os resultados obtidos de simulação para o tempo de processo, em horas, de pintura de 1 lote de cadeiras (80 peças).

	Scenario Properties			Control	Response	
	S	Name	Program File	Reps	Lixadores	TempoProcesso
1		Cenário 1	3 : Model3 (6	4	2.0000	10.102
2		Cenário 2	3 : Model3 (6	4	4.0000	8.154
3		Cenário 3	3 : Model3 (6	4	6.0000	7.503

Figura 10: Resultados obtidos de simulação.

Fonte: O Autor.

Pode-se observar dos dados apresentados da Figura 10, que o tempo do processo atual (cenário 2) está dentro do objetivo da empresa que é pintar 80 cadeiras durante um turno de trabalho. Pode-se, notar que a inclusão de mais dois lixadores no processo traz um pequeno ganho de tempo, aproximadamente 39 minutos. Isto deve-se ao gargalo criado no processo de envernizamento das cadeiras. Portanto, tornando este cenário economicamente inviável para a empresa.

4.3 OTIMIZAÇÃO - *Optquest*

Depois de analisar a situação atual da empresa dimensionou-se, a linha de pintura, para um aumento de 50% na produção de cadeiras tipo A (120 peças). O problema foi definido, por meio do *Optquest* da seguinte forma:

Função Objetivo:

- Minimizar o número de funcionários do setor para pintar 120 cadeiras tipo A em um turno de trabalho.

Restrição:

- Tempo de Processo \leq 8 horas.

Variáveis de controle:

- Número de funcionários no processo de tingimento

Mínimo = 1;

Máximo = 2.

- Número de funcionários no processo de selagem

Mínimo = 1;

Máximo = 2.

- Número de funcionários no processo de envernizamento

Mínimo = 1;

Máximo = 2.

- Número de funcionários no processo de lixa

Mínimo = 2;

Máximo = 6.

O Optquest realizou 40 simulações, com 4 replicações cada, para encontrar a melhor solução segundo as opções e os parâmetros definidos. Os resultados para função objetivo, Número de Funcionários do Setor de Pintura, é apresentado na Figura 11.

Best Solutions **Optimal solution found.**

Best Solutions									
Select	Simulation	Objective Value	Status	Lixadores	Op1	Op2	Op3	▲	
<input checked="" type="checkbox"/>	2	10,000000	Feasible	4	2	2	2		
<input type="checkbox"/>	6	11,000000	Feasible	5	2	2	2		
<input type="checkbox"/>	13	11,000000	Feasible	6	2	2	1		
<input type="checkbox"/>	4	12,000000	Feasible	6	2	2	2		
<input type="checkbox"/>	25	10,000000	Infeasible	5	2	2	1		
<input type="checkbox"/>	30	11,000000	Infeasible	6	1	2	2		
<input type="checkbox"/>	24	9,000000	Infeasible	4	2	2	1		
<input type="checkbox"/>	14	11,000000	Infeasible	6	2	1	2		
<input type="checkbox"/>	19	9,000000	Infeasible	3	2	2	2		
<input type="checkbox"/>	34	10,000000	Infeasible	5	1	2	2	▼	

Figura 11: Resultados obtidos do Optquest.

Fonte: O Autor.

O melhor resultado obtido, por meio do Optquest, foi na simulação 2 com a utilização de 10 funcionários para pintar 120 cadeiras num turno de trabalho. Sendo 4 no setor de Lixa (Lixadores), 2 no setor de tingimento (Op1), 2 no setor de selagem (Op2) e 2 no setor do verniz (Op3).

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se a metodologia utilizada na implementação do modelo computacional usado para simular a dinâmica operacional do processo de pintura de cadeiras em uma indústria moveleira da região oeste paranaense.

De acordo com os resultados das análises procedidas para a validação do modelo computacional, foi possível concluir que o mesmo pode ser aplicado para simular a dinâmica operacional do processo de pintura de cadeiras, principalmente na previsão da variável Tempo do Processo de pintura de um lote de cadeiras (TPLC).

Conclui-se, através dos resultados obtidos de simulação, que o número de funcionários do setor de pintura esta bem dimensionado para pintar um lote de 80 cadeiras, durante um turno de trabalho.

Concluiu-se, também, que para um aumento de 50% na produção (120 cadeiras) seria necessário, para pintura do lote em um turno de trabalho, a contratação de 3 funcionários para o setor de pintura da indústria moveleira. Para implantar o aumento de produção proposto será necessário a verificação do inicio do processo de produção sobre encomenda que são os setores de montagem e lixa que se encontram na zona suja da fabrica, pois quando se acaba com um gargalo o mesmo se desloca para outra parte do processo, assim sendo necessária a verificação que é deixada como proposta para trabalhos futuros.

Deve-se destacar ainda que o potencial de uso da simulação é inexplorado em diversos contextos brasileiros, principalmente, em pequenas e médias empresas e que estudos deste tipo contribuem para a aproximação entre a universidade e as empresas, promovendo o crescimento das pequenas empresas da região.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. – **Simulação da dinâmica operacional de um restaurante universitário de pequeno porte: Um estudo de caso.**2012. 81f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.
- BANKS, J. **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and Practice.** John Wiley& Sons. New York, 1998.
- BONATTO, F. **Aplicação do mapa do fluxo de valor em uma indústria moveleira.** Trabalho de Conclusão de Curso – UTFPR, 2013.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações.** São Paulo: Brazilian Books, 2007.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M.: **Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRP II / ERP.** Ed. Atlas, São Paulo, 1997.
- FERREIRA, M. J. B.... [et al.] – **Relatório de acompanhamento setorial indústria Moveleira / Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI, Núcleo de Economia Industrial e Tecnologia do Instituto de Economia da Universidade de Campinas – Unicamp. – volume 1.** 2008.
- FU, M. C. **Optimization for Simulation: Theory vs. Practice.** Journal on Computing, v. 14, n 3, 2002.
- LOUREIRO A. B. **Planejamento do arranjo físico em uma indústria moveleira.** UFES, 2011.
- MARROCO, J. **Análise estatística de dados – com utilização do SPSS.** Lisboa: Sílabo, 2003.
- PARAGON. **Introdução à Simulação com o Arena 5.0.** Rockwell Software, 2005.
- PIVA, R. D.. **Dossiê técnico Processo de fabricação de móveis sob encomenda / Centro Tecnológico do Mobiliário, SENAI-RS,** 2006.

PRADO, D. -**Usando o Arena em simulações**. Darci Santos de Prado – Belo Horizonte (MG). INDG Tecnologia e Serviços Ltda. – 2010.

SARGENT, R. G. **Verification and validation of simulation models**. In: WINTER THE SIMULATION CONFERENCE, 1998, Proceedings... Washington: WSC, p. 20-8, 1998.

SILVA, E. L. da, MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 138p

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.