



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E  
ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
QUÍMICA**

**CARLOS COUTINHO FERNANDES JÚNIOR**

**AUMENTO DA PRODUTIVIDADE EM ABATE DE SUÍNOS  
POR MEIO DE SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO  
BALANCEAMENTO DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO**

**Florianópolis  
2018**



**CARLOS COUTINHO FERNANDES JÚNIOR**

**AUMENTO DA PRODUTIVIDADE EM ABATE DE SUÍNOS  
POR MEIO DE SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO  
BALANCEAMENTO DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Química.

Orientador: Leonel Teixeira Pinto

**Florianópolis 2018**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Fernandes Júnior, Carlos Coutinho

Aumento da Produtividade em Abate de Suínos por Meio de Simulação e Otimização do Balanceamento das Estações de Trabalho / Carlos Coutinho Fernandes Júnior ; Orientador, Leonel Teixeira Pinto. 2018.

131 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Química. 2. Balanceamento postos operativos. 3. Modelagem, simulação e otimização de abate de suínos. 4. Aumento de produtividade. 5. Lean Manufacturing. I. Pinto, Leonel Teixeira. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. III. Título.

Carlos Coutinho Fernandes Júnior

**AUMENTO DA PRODUTIVIDADE EM ABATE DE SUÍNOS  
POR MEIO DE SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO  
BALANCEAMENTO DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor em Engenharia Química”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Química.

---

Prof. Leonel Teixeira Pinto, Dr.  
Orientador

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cintia Soares  
Coordenadora

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Ariovaldo Bolzan, Dr.  
Membro interno

---

Prof. Enzo Morozini Frazzon, Dr.  
Membro externo

---

Prof. Neri Santos, Dr.  
Membro externo  
Pontifícia Universidade Católica - PUCPR



Dedico este trabalho a  
minha esposa Claudia e  
filhos Larissa e Lucas  
pelo constante carinho e a  
minha mãe Maria da  
Glória por suas fraternas  
orações.





## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A minha esposa Claudia e aos meus filhos Larissa e Lucas, pelo carinho e compreensão de minha ausência em alguns momentos.

A minha querida mãe pela sua constante torcida e incondicional amor.

Ao meu Orientador Leonel Teixeira Pinto, por ter me acolhido todo esse tempo, pelo seu sempre assertivo e sábio direcionamento nos momentos decisivos do projeto e sua infinita paciência pedagógica para constantemente me ensinar o melhor caminho.

A colega doutoranda Thais Perez pelo seu apoio nas revisões imprescindíveis durante o trabalho.

Ao meu gestor da época da fase experimental do trabalho, José Ricardo, pelo irrestrito apoio e liberação de recurso e de meu tempo para dedicação ao projeto.

Aos membros da banca, por gentilmente terem aceito participar da banca examinadora.

Ao programa de Pós-Graduação de engenharia química da Universidade Federal de Santa Catarina por todo o suporte e estrutura acadêmica.

Ao colega da Coordenadoria de Pós-Graduação em Engenharia Química, Edevilson Silva, pelo apoio e dedicação.



## RESUMO

Este projeto de pesquisa tem como justificativa o estudo do balanceamento operacional, e otimização de postos operativos por meio de modelagem e simulação, em processo de abate frigorífico, onde há um alto grau de emprego de mão de obra e uma alta variabilidade nos tempos de execução das tarefas, tornando complexa uma análise completa de toda a cadeia. Em função deste grau de complexidade da análise e descrição detalhada de todos os passos necessários para se construir uma modelagem onde se reproduza com considerável precisão, este tipo de processo (abate frigorífico), considera-se o estudo relevante, contribuindo com o estado da arte da aplicação da modelagem e simulação em processos de abate frigoríficos. O objetivo principal é desenvolver o estudo necessário no aprimoramento da determinação dos passos necessários para construção da modelagem e simulação e otimização para melhoria de produtividade de forma mais adequada para as especificidades do balanceamento de linhas de abates. A metodologia desta pesquisa é referenciada nos princípios do Lean manufacturing ( Fabricação Enxuta), em particular na redução do tempo de espera e no balanceamento de operadores nas estações de trabalho e para atender a esse escopo de pesquisa, foi escolhido um software que melhor atende as premissas e aplicações para o perfil de processo em estudo, sendo desenvolvido e validado em planta de abate frigorífico de suínos de 6.500 suínos /dia, desde o recebimento dos animais, até a embalagem dos cortes. O objetivo principal de desenvolvimento dos passos necessários para modelagem em linhas de abates foi atingido e como consequência obteve-se no estudo de caso aplicado um aumento de produtividade da planta em 12%, medida em Homem-hora/tonelada produzida e o modelo construído também foi utilizado com resultados satisfatórios para dimensionar o número de colaboradores necessários para se fazer as pausas obrigatórias de 1 hora por turno, pela norma NR 36, do ministério do trabalho(2013),onde se avaliou e estabeleceu a melhor opção entre os cenários simulados que atenda melhor às necessidades atuais da planta, em termos de custo operacional e produtividade.A contribuição para o estado da arte no tema de balanceamento operacional se atribui a abrangência da modelagem e otimização onde envolve mais de 800 postos operativos, demonstrando a grande efetividade da modelagem para linhas de abate de animais, no que diz respeito a precisão e velocidade na consolidação do resultado e grande potencial de aplicação para plantas similares, ressaltando a necessidade de customização de inserção dos dados característicos e layout de cada planta.

**Palavras-chave:** Balanceamento postos operativos; Modelagem, simulação e otimização de abate de suínos; Aumento de produtividade; Lean Manufacturing.

## ABSTRACT

This research project is justified in the study of the operational balancing, and optimization of operative stations through modeling and simulation, in process of slaughtering, where there is a lot of operators and a high variability in the execution of tasks, making complex a complete analysis of the entire chain. This study is considered a relevant, contributing with the state of the art the application of modeling and simulation in cold slaughter processes, due to the complexity of the analysis and detailed description of all the necessary steps to build a model where it is possible to reproduce with considerable precision, this type of process (slaughtering). The main objective is to develop the necessary study in the improvement of the determination of the necessary steps for the construction of the modeling and simulation and optimization for productivity improvement in an appropriate way for the specifics of the balancing of slaughter lines. The methodology of this research is referenced in the principles of Lean manufacturing, in specially in the reduction of the waiting time and the balancing of operators in the workstations and to meet this research scope, was chosen software that best meets the assumptions and applications for the process profile under study. A pig slaughtering unit of 6,500 pigs / day from the reception of pigs to the packaging of the cuts was developed and validated. The main objective of the development of the necessary steps for modeling in slaughter lines was achieved and as a consequence, in the applied case study, an increase in plant productivity was achieved by 12%, measured in Man-hour / ton produced, and the model also constructed was used with satisfactory results to size the number of employees needed to make the obligatory breaks of 1 hour per shift, according to the NR 36 norm of the Ministry of Labor (2013), where the best option among the simulated scenarios was evaluated to better attending the plant's current needs in terms of operating cost and productivity. The contribution to the state of the art in the theme of operational balancing is attributed to the scope of modeling and optimization where it involves more than 800 operating stations, demonstrating the great effectiveness of the modeling for animal slaughter lines, with regard to precision and speed in the consolidation of the result and great application potential for similar plants, emphasizing only the need to customize the insertion of the characteristic data and layout of each plant.

**Keywords:** Labor balancing; Modeling, simulation and optimization of pig slaughtering. Productivity increase; Lean Manufacturing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema básico dos componentes do software .....	64
Figura 2: Exemplo de junção dos itens para formar o modelo.....	67
Figura 3: Gráfico de balanceamento de operador Fonte: Rother e Harris (2002, p. 32).....	74
Figura 4: Os animais e seus principais cortes industriais.....	79
Figura 5: Processo de modelagem num estudo de simulação.....	82
Figura 6: Macro fluxo abate suínos – da recepção até a abertura papada .....	84
Figura 7: Macro fluxo suínos – da evisceração até a palletização.....	84
Figura 8: Tela modelo inicial .....	93
Figura 9: Planta em CAD da fábrica em estudo inserida no Flex Sim..	94
Figura 10: Modo estatística e suas saídas.....	96
Figura 11 Processo de validação do modelo.....	97
Figura 12: Tela de avaliação do fluxo de materiais – validação modelo..	99
Figura 13: Balanceamento operadores-tarefa desmembrar pernil.....	106
Figura 14: Evolução do indicador Hh/Ton.....	111
Figura 15: Evolução horas trabalhadas e volume.....	112
Figura 16: Regressão linear simples.....	113
Figura 17: Tela de entrada para simular cenários de pausa.....	119





## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Etapas para a elaboração da pesquisa ação.....	78
----------------------------------------------------------	----



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Softwares disponíveis no mercado .....	51
Tabela 2: Detalhamento critérios de Banks (1991) - Critérios Entrada e Processamento .....	54
Tabela 3: Detalhamento critérios de Banks (1991) – Critérios: saída, suporte e custo .....	56
Tabela 4: Resumo principais trabalhos sobre escolha de softwares .....	59
Tabela 5: Pontuação final dos 16 softwares – Método adaptado de Banks (1991) .....	62
Tabela 6: Tempos de pausa .....	81
Tabela 7: Dados de input para construção do modelo inicial .....	87
Tabela 8: Elementos gerados pelo modelo com dados de input .....	90
Tabela 9: Taxa de ocupação de tarefas .....	104
Tabela 10: Balanceamento postos área de cortes .....	107
Tabela 11: Resumo .....	108
Tabela 12: Taxa de ocupação da tarefa antes e depois do balanceamento .....	110
Tabela 13: Indicadores antes e depois da retirada de postos .....	112
Tabela 14: Variáveis antes e depois da otimização/balanceamento de mão de obra .....	113
Tabela 15: Capacidade por área .....	116
Tabela 16: Cenários a serem simulados no modelo construído .....	117
Tabela 17: Resultados por cenário .....	120
Tabela 18: Escolha do melhor cenário de acordo com a demanda .....	121



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
1.1	JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS.....	26
1.1.1	Justificativa.....	26
1.1.2	Objetivo geral.....	27
1.1.3	Objetivos específicos.....	28
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>30</b>
2.1	BALANCEAMENTO, SIMULAÇÃO DISCRETA E SUAS APLICAÇÕES.....	31
2.2	CONCEITO DE SIMULAÇÃO E MODELAGEM.....	38
2.2.1	Elementos básicos da simulação.....	39
2.2.2	Passos para executar a simulação.....	40
2.3	O PROCESSO DE ABATE DE ANIMAIS.....	41
2.3.1	Origem e histórico do abate de animais no Brasil.....	42
2.3.2	O processo de abate e industrialização de cortes e suas principais características.....	44
2.4	REVISÃO DOS PRINCIPAIS SOFTWARES DISPONÍVEIS NO MERCADO.....	49
2.4.1	A escolha do software.....	60
2.4.2	O software Flex Sim® e suas principais características.....	64
2.5	MÉTODO BALANCEAMENTO DE OPERADORES.....	68
2.5.1	A origem do Lean Manufacturing ou Manufatura Enxuta....	69
2.5.2	Os princípios básicos do Lean Manufacturing e sua aplicação	70
2.5.3	O conceito de balanceamento de processos e GBO.....	72
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>76</b>
3.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO.....	77
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	78
3.2.1	Desafios do processo em questão.....	78
3.2.2	Etapas para construção do modelo atual.....	81
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>101</b>
4.1	LEVANTAMENTO DOS DADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO ATUAL.....	101
4.2	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	103
4.3	EXECUÇÃO DO BALANCEAMENTO REAL DA LINHA E RESULTADOS DO KPI HOMEM-HORA/TON.....	108
4.4	DIMENSIONAMENTO DAS PAUSAS.....	114
4.4.1	Resultados cenários – dimensionamento pausas.....	119
4.5	DISCUSSÃO, INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	121

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>123</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>125</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Para garantir sua sobrevivência em um mercado mais competitivo e dinâmico, as indústrias de grande porte têm que se reinventar, buscando novos produtos, mercados e processos. Por esse motivo, ao longo das últimas décadas têm sido desenvolvidas métodos e técnicas de gestão de melhoria de processos para aprimorar a performance do produto final com custos internos mais competitivos. Levando-se em conta que não existe um método/técnica de gestão perfeita e que cada processo tem suas características peculiares, essas devem ser adaptadas para se conseguir uma sinergia de performance sem a herança indesejável de parte deste modelo de gestão que não tem aplicação no caso em questão. A competitividade dinâmica que se vive também faz alavancar a busca de respostas cada vez mais rápidas e com maior precisão no que se diz respeito à efetividade nas alterações feitas no processo, principalmente em relação àquelas que exigem investimento financeiro. Neste contexto, a modelagem e simulação de processos aparecem como opção importante para se construir uma solução robusta, que dê um suporte de confiabilidade para a tomada de decisão em investimentos e correção das condições de contorno de projetos e processos já existentes.

O grande desafio das unidades industriais atualmente tem sido manter seus custos de processos competitivos frente à concorrência interna e principalmente à entrada dos competidores internacionais com tecnologias inovadoras e custos de mão de obra, cada vez menores, quando comparados aos custos de nosso País. Não resta outra alternativa senão melhorar continuamente sua produtividade e eficiência. Para qualquer sistema produtivo, independente da escala, entradas de insumos variados e recursos duráveis são utilizados para produzir saída sob a forma de produto, serviço ou informação. Em uma definição mais clássica, a produtividade pode ser definida como a relação entre o que ocorre no sistema e o que é produzido, ou mais simplesmente, a proporção de saída para entrada. Na sua forma pura e teórica, a mensuração da produtividade são medidas de fenômenos físicos, como a transformação de energia em trabalho, e não medidas de moeda ou outros substitutos (MISTEREK et al., 1992).

Quando é citado melhoria de produtividade e eficiência, deve-se entender como o uso otimizado de todos os recursos disponíveis para processamento, como máquinas, mão de obra, insumos, layout físico, todos interagindo de forma racionalizada de modo a obter um resultado ótimo de mais valor agregado com o menor custo possível.

A modelagem e simulação de processos utilizadas com foco em racionalização de recursos e melhoria de produtividade, será o grande objeto de estudo deste trabalho, com o objetivo geral de ser aplicado em segmento específico que é o abate frigorífico, amplamente difundido em nosso País.

As variáveis que serão aqui abordadas e analisadas são as discretas. A simulação de eventos discretos é uma das mais poderosas ferramentas de análise disponível para o planejamento de projeto e controle de sistemas complexos. Uma das principais questões enfrentadas pelos gerentes das linhas de produção é como lidar com a flutuação no ritmo dos operadores nas estações de trabalho. Uma alteração em qualquer uma das condições durante a operação da linha pode significar acúmulo de estoques e interrupções no bom funcionamento da linha (SHAABAN et al, 2013)

Em uma típica situação da vida real, a apresentação de um problema para gerentes e clientes, utilizando um modelo de simulação, tem maior credibilidade que outras ferramentas, como os métodos analíticos, por permitir a captura de detalhes da operação sem a necessidade de muitas simplificações (DA SILVA et al, 2014). Além disso, possibilita a comparação de seu comportamento frente ao sistema real, auxiliando na tomada de decisão quando há custos de investimentos envolvidos, gerando maior grau de confiabilidade no que se refere ao resultado final esperado. A abordagem integrada com base na simulação computacional, reduz o risco de ineficácia da operação de fabricação crítica que se quer, por exemplo, executar uma reconfiguração (KUMAR; PHROMMATHED, 2006). Desta forma, ao longo das últimas duas décadas, a disseminação da simulação, como ferramenta de modelagem e análise de problemas em diferentes áreas, gerou o interesse de muitas empresas especializadas no desenvolvimento de softwares, resultando em dezenas de softwares comerciais de simulação de eventos discretos e contínuos com diferentes características, vantagens, desvantagens e custos. Vale lembrar que quando se cita no trabalho o termo software, entende-se como produtos de software prontos para o uso, que apresentam um conjunto de características funcionais e de qualidade pré-definidas pelo fornecedor, às quais o usuário vai absorvendo durante o treinamento e sua aplicação. Dentro do escopo geral da utilização deste software, as principais demandas para este projeto de pesquisa, seriam:

- Avaliar o impacto global de mudanças no processo produtivo em estudo;



- Determinar a melhor configuração de variáveis de saída, dentre as opções possíveis;
- Prover velocidade na tomada de decisão, com economia de tempo e investimento monetário;
- Auxiliar na alocação de recursos e prevenção de gargalos.

Ainda sobre o uso da simulação, ressalta-se que não é uma ferramenta que substitui o trabalho de interpretação humana, mas sim uma ferramenta capaz de fornecer resultados para análises mais elaboradas a respeito da dinâmica do sistema, permitindo desta maneira uma interpretação mais profunda e abrangente do sistema estudado (HARRELL et al., 2002). Além disso, a simulação pode e deve ser usada também como grande suporte para entendimento de restrições ergonômicas nos postos operativos, contribuindo para um alinhamento entre condições que melhorem o trabalho humano e sua adaptação aos recursos de operação (equipamentos, lay-out, etc.), otimizando o processo como um todo (NEUMANN; DUL, 2010). Antes da implantação direta de qualquer mudança no sistema produtivo, a análise dos dados e a simulação computacional podem reduzir com sucesso o risco da ineficácia de uma operação no mundo real (KUMAR; PHROMMATHED, 2006). A simulação se baseia em um modelo, que é uma representação de um sistema real, onde somente os aspectos relevantes para a análise em questão serão considerados. O uso de modelos traz muitos benefícios como redução de tempo, custo e perdas materiais. Em muitos casos, seu uso é até mesmo inevitável, como quando o sistema real não existe por se tratar de um projeto ou não estar disponível para experimentos.

Quando se pensa em um processo de alta performance, que é um dos objetivos específicos deste trabalho (aumento de produtividade), necessariamente ele deve ter os seguintes elementos em sua gestão:

- Seus procedimentos em todas as etapas devem estar bem padronizados para se ter reprodutibilidade dos resultados (FALCONI, 2014);
- Uma baixa variabilidade dos processos deve garantir as especificações do produto (WERKEMA, 2012);
- O processo deve ser montado de forma que só contemple etapas que realmente agregue valor ao cliente, reduzindo o custo final do produto (WOMACK, JONES, ROSS, 1992);

Uma vez aplicada a melhoria no processo, devemos ter uma forma de avaliar os resultados previamente, antes de aplicar investimento de grande porte (KUMAR; PHROMMATHED, 2006).

Avaliando todos esses elementos citados, para um processo industrial de grande porte, é pouco viável obter um resultado efetivo se não houver uma robusta abordagem, no caso a modelagem e simulação, que nos permita, suportados por um eficiente software, avaliar e determinar os principais parâmetros e condições de contorno do processo que nos levem a atingir os kpis de performance desejados.

## 1.1 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

O principal ponto de abordagem desta pesquisa é: Como otimizar os recursos envolvidos no processo produtivo de uma planta industrial de abate frigorífico onde interagem equipamentos de diferentes capacidades, mão de obra, que devem trabalhar de forma sequenciada (NEUMANN; DUL, 2010), e também exigências de legislação (ex. pausas obrigatórias). É uma complexa equação, que será estudada e desenvolvida neste projeto de pesquisa, usando a modelagem e simulação de processos como meio de avaliar o melhor conjunto de etapas procedimentos e resultados que atendam aos objetivos do trabalho.

### 1.1.1 Justificativa

Quando se aborda o abate frigorífico de animais, podem ser citados inicialmente dois grandes desafios encontrados neste tipo de processo:

- Por se tratar de um animal vivo que será abatido e separado em várias partes, é um processo de alta variabilidade (CALLEL, 2016), que se divide em diferentes fluxos produtivos. Há um constante foco no aumento de produtividade da planta, visto que é um processo com baixo grau de automação, necessitando de muita mão de obra, o que aumenta o custo e dificulta a padronização das etapas produtivas. Sempre se busca, por meio do balanceamento do fluxo produtivo, a otimização de postos operativos e aumento de volume de produção como meio de tornar o custo final mais competitivo;
- É um processo regido por rigorosas normas do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1995) em relação às condições

sanitárias e bem-estar animal e também pelo Ministério do Trabalho, pois por se tratar de um processo frigorífico, há uma limitação de tempo máximo de exposição do indivíduo às condições de baixa temperatura (BRASIL, 2013). Essa exigência torna necessária pausas a cada tempo máximo de trabalho e, para não haver interrupção do processo produtivo, há a necessidade de ter um maior número de pessoas para se fazer revezamento. Este fato implica em um custo maior de processo.

### 1.1.2 Objetivo geral

O processo frigorífico de abate e industrialização de suas partes, tem uma grande variabilidade inerente (CALLEL, 2016), por se tratar de um organismo vivo que é criado para o abate posterior em múltiplas partes, estando sujeito a todas as oscilações do ambiente que o cerca. Este tipo de processo exige um forte método de gestão para obter uma cadeia produtiva que tenha competitividade sustentável e robusta. Outro fato importante a ser abordado, que também deve ser incluído dentro do escopo do objetivo do trabalho, é a dificuldade que se tem hoje nas grandes empresas de se tomar decisão de investimento para melhoria de processos, baseado apenas em projetos empíricos onde os kpis (indicadores) de melhoria do projeto são definidos baseados em projeções históricas de projetos anteriores ou até mesmo apenas no conhecimento técnico da equipe. Esta incerteza no retorno do investimento feito em uma melhoria de processo, faz com que muitas vezes se agregue custo desnecessário na cadeia produtiva ou não se executem determinados projetos por não se ter uma mínima garantia deste retorno. Sobre a tomada de decisão, pode-se definir como o processo de chegar a uma escolha após exposição de alternativas concorrentes. E sem uma consistente base comparativa entre as opções, torna-se mais complexa e de maior risco a decisão (PETEROS; MALEYEEF, 2015).

Outro ponto a ser abordado é que nas últimas décadas surgiram alguns métodos com foco em melhoria de processo, como por exemplo, o Lean Manufacturing, que é uma leitura do método de produção da empresa Toyota (WOMACK; JONES; ROSS, 1992), tendo grande foco na eliminação dos desperdícios etapa a etapas. Muitas empresas tentam implementar esses métodos de forma unilateral, sem levar em consideração as características peculiares de seus processos, que certamente não responderão exatamente da mesma forma conforme se

espera. É preciso planejar como implantar, testar em menor escala, ajustar e depois implantar em grande escala. Fazer isso de uma forma racional, com baixo custo e relativa velocidade é o grande desafio em questão.

Desta forma, buscando preencher esta lacuna citada, de melhor assertividade na busca de melhoria de processo em planta de abate frigorífico, o objetivo geral deste trabalho é:

Desenvolver o estudo necessário no aprimoramento da determinação dos passos necessários para construção da modelagem, simulação e otimização para melhoria de produtividade de forma mais adequada para as especificidades do balanceamento de linhas de abates. Neste contexto citado, o escopo central desta pesquisa é definido como sendo a abordagem do uso da simulação e modelagem de processos como meio para se avaliar e quantificar as possibilidades de incremento de produtividade e eficiência de processo industrial de abates, partindo da modelagem inicial do processo em seu estado atual.

### 1.1.3 Objetivos específicos

Com base no escopo do objetivo geral, pode-se estabelecer alguns objetivos mais detalhados, que se fazem necessários para condução deste trabalho de pesquisa:

- Definir quais são os inputs significativos para inserir no modelo, necessários para o atingimento do objetivo geral do trabalho e para melhoria de produtividade esperada.

O Kpi (indicador) mais importante do projeto é a produtividade, que se define como:

*Hh/ton produzida* = quantidade de horas trabalhadas por toda equipe/ volume acabado de produção (Homem hora/tonelada produto).

Este resultado é atendido utilizando de forma coordenada os recursos disponíveis como as capacidades dos equipamentos processadores e o tempo total de mão de obra disponível. Um ponto então fundamental do trabalho, é determinar quais inputs de entrada e saída no sistema são determinantes para se modelar uma produtividade otimizada, levando em consideração todos os recursos disponíveis.

- Aplicar o modelo para dimensionar os recursos necessários para atender as exigências legais do ministério do trabalho relativo a carga horária e pausas

por tempo de trabalho contínuo- NR-36, e também às exigências sanitárias do Serviço de Inspeção Federal (BRASIL, 2013).

A questão relacionada a NR 36, implica em um impacto direto na produtividade, pois, ou se inclui um número maior de pessoas para substituir a equipe original no momento da pausa, ou simplesmente para-se toda a produção durante este período reduzindo a capacidade de produção da linha por turno. Este é um dos principais pontos que se pretende avaliar com a modelagem a ser feita do processo.

- Pesquisar e definir o software que melhor atende ao escopo do projeto de pesquisa. A premissa inicial é desenvolver o estudo da modelagem, simulação e otimização do processo de abate aplicando um programa de software já disponível no mercado, visto que o escopo deste trabalho é desenvolver um modelo para buscar melhoria de produtividade, usando a simulação e modelagem como meio, sendo que o desenvolvimento do sistema de modelagem (programa) não está neste escopo. Será utilizado um software disponível no mercado que tenha a maior aderência possível ao trabalho, sendo uma ferramenta facilitadora para desenvolvimento da pesquisa.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na fundamentação teórica deste trabalho, será abordado; (1) A aplicação da modelagem e simulação em processo industrial com foco em balanceamento de linha e aumento de produtividade; (2) A simulação discreta e seus principais conceitos e fundamentos; (3) Critérios para escolha de um software de simulação e principais programas comerciais disponíveis atualmente; (4) O processo fabril de abate e sua industrialização; (5) A abordagem de manufatura enxuta, ou *Lean Manufacturing* como é mais conhecido, que será a base dos fundamentos usados para propor o estado futuro de melhoria do processo em estudo.

### 2.1 BALANCEAMENTO, SIMULAÇÃO DISCRETA E SUAS APLICAÇÕES

Dentro da área de estudo, abate de animais, o uso de mão de obra é intenso, sendo um dos maiores custos do processo como um todo. Com o crescimento tecnológico e de inovação, têm surgido muitas oportunidades de automação industrial, que gera uma consequente redução no custo de mão de obra. Porém esta alternativa ainda se apresenta com altíssimo custo e não evolui numa velocidade tão expressiva, a ponto de ser a solução definitiva para os altos custos da mão de obra empregada nos processos industrial. Logo, a racionalização do uso da mão de obra, ou balanceamento da mão de obra por meio da análise e otimização de tarefas de cada posto operativo em uma linha de produção, ainda é a solução mais viável para a maioria dos processos fabris. O balanceamento de linha, segundo Tubino (2009) tem por objetivo fazer com que os centros de trabalho encarregados da montagem de partes componentes do produto acabado tenham o mesmo ritmo. Tubino (2009), afirma que o balanceamento de linha determina o número de postos de trabalho, de modo que todos os postos de trabalho tenham tempos de processamento similares e, como acrescenta Moreira (2009), que a máxima eficiência ou a mínima ociosidade seja atingida.

Buscando uma visão mais específica, balancear uma linha de produção é ajustá-la às necessidades da demanda, maximizando a utilização dos seus postos ou estações, buscando unificar o tempo unitário de execução do produto em suas sucessivas operações. Mas esta tarefa de balanceamento é complexa de se enxergar todas as conexões de fluxo de produto e processo em toda a cadeia. É nesse contexto que a modelagem e simulação de processos se apresenta como uma grande ferramenta de

apoio de decisão para se prever resultados a serem obtidos com o uso de uma nova abordagem, fruto da integração de algumas já existentes. Devido à sua flexibilidade, a modelagem e simulação é capaz de mostrar o resultado de vários cenários antes de qualquer alteração real ser feita (SETIJONO *et al*, 2010).

Nesta linha de aplicar conceitos de modelos de gestão para propor melhorias a um processo e se aplicar a simulação de processos para avaliar o estado futuro, diversos trabalhos têm sido realizados nas últimas duas décadas. A respeito do tema específico deste trabalho, o balanceamento dos postos operativos, a simulação e otimização é uma potencial ferramenta para se encontrar o melhor desenho de operação, onde o objetivo do trabalho seria modelar a melhor estratégia de utilização dos recursos de mão de obra e máquina frente possíveis oscilação de demanda, buscando sempre a maximização da produtividade, pois a taxa de ocupação das estação de trabalho é muito afetada pela variação dos tempos de ciclo de cada tarefa nas estações de trabalho.

O balanceamento das etapas sequenciais de um processo produtivo complexo é uma das mais importantes respostas que se espera, quando se aplica e desenvolve um projeto de simulação discreta. Na literatura encontram-se um grande número de pesquisas sobre a problemática do balanceamento de linha em sistemas de produção em série, onde os principais esforços são feitos para garantir que as linhas sejam projetadas de tal forma que a alocação dos postos de trabalho sejam distribuídas uniformemente (SCHOLL; BECKER, 2006 ). O objetivo de tal equilíbrio é que os itens prosseguem suavemente ao longo da linha, com a finalidade de maximizar o resultado, utilizando uma quantidade mínima de espaço e mantendo o menor estoque possível na linha.

Na busca da competitividade, o processo de desenvolvimento de processo e produto evolui usando, em algumas situações, métodos de melhoria. O Design para fabricação e montagem, ou DFMA, é um exemplo de um desses métodos. No âmbito do processo de desenvolvimento do produto, é desejável que os gestores do processo tenham uma visão sistêmica dos efeitos e que mudanças nos processos locais ocorrerão, e que impacto será gerado no desempenho geral de todo o sistema de produção. Nesse contexto a simulação pode ser usada para otimizar o *lay-out* do processo e demais recursos disponíveis para se obter o melhor balanceamento configuração da linha, gerando esta visão sistêmica para suporte a tomada de decisão para a melhoria (DA SILVA *et al*, 2014) gerando tempos de ciclo e tempos de processamento total mais competitivos. A simulação contribuiu muito para resolver questões



em linhas de montagem que sofrem o impacto com a variação dos tempos de operação em função da variabilidade da operação em si, gerando aumento dos tempos médios de operação (BIMAN *et al*, 2010). Frente a este desafio, o modelo construído é capaz de auxiliar na otimização da alocação dos tempos de cada estação buscando melhor equilíbrio geral da linha. Neste caso a simulação auxilia na identificação clara dos pontos dos processos onde deve-se trabalhar para reduzir variabilidade e se estabilizar o tempo total de ciclo do processo (SHAABAN *et al*, 2013), fornecendo informações sobre a melhor forma de colocar estações de trabalho com diferentes variações ao longo da linha. Isto fornece diretrizes para os gerentes de linha de produção de como projetar linhas balanceadas, dependendo de seus objetivos de desempenho.

Um outro ponto importante a ser citado é a justificativa do uso de simulação em projetos de manufatura enxuta. Este conceito de manufatura, também conhecido como manufatura Lean (MOR *et al*, 2016) será abordado em um capítulo a seguir, mas em resumo é uma abordagem usada para reduzir desperdícios no chão de fábrica com foco em eliminar tarefas que não agregam valor ao produto final, apenas custo. Standridge e Marvel (2006) apresentaram um projeto que visava eliminar desperdícios nas etapas do processo produtivo, destacando as oportunidades que se tem no processo, usando os conceitos de manufatura enxuta e como a simulação pode ajudar a avaliar os ganhos potenciais e gerar mais confiança em se investir nas propostas de melhorias sugeridas no projeto. Em alguns processos naturalmente já se usa muito a filosofia Lean ou Manufatura Enxuta como no caso do ramo automobilístico. Ao longo da última década é um dos setores que mais vem adaptando o modelo de manufatura enxuta às características do setor automobilístico e seus desafios (COPPETI, SAURIN, SOLIMAN, 2016). E nesta área automobilística, a aplicação de conceitos de simulação e otimização de processos tem sido utilizado largamente (TORGA, 2007). O processo automobilístico trabalha sob o conceito de produção puxada (Só há produção mediante demanda, não para gerar estoque) e busca-se muito otimizar a saída do processo por meio da simulação computacional, para se avaliar se a demanda prevista na simulação está de acordo com a demanda necessária. Considerando que o ramo automobilístico é de alto valor agregado, sendo de grande oneração ao custo do processo o acúmulo de estoques sem demanda prévia.

Outro exemplo a citar, na visão da integração da manufatura enxuta em modelos de simulação é um trabalho (SOUZA, *et al* 2014) desenvolvido na cadeia produtiva de uma empresa de condutores elétricos de alumínio onde é analisada a melhor estratégia de aumento de sua

capacidade produtiva. A empresa apresenta grande complexidade e variabilidade em seus fluxos de produção e, para tratar esse problema, foi proposta uma abordagem de construção de um modelo de simulação que representasse esse sistema. Nesse modelo, foram consideradas duas estratégias distintas para avaliar o aumento de capacidade produtiva, a partir da configuração de dois cenários: um considerando melhorias contínuas obtidas por meio do Lean Thinking ou Produção Enxuta; e outro considerando investimentos em aquisição de maquinário. Os resultados encontrados pelo estudo apontam que a melhor estratégia de aumento da capacidade produtiva foi obtida com a utilização da filosofia da produção enxuta em seus processos críticos, visto que os ganhos em capacidade foram maiores que os observados na outra estratégia e os custos de implantação menores.

Na área específica deste projeto de pesquisa, abate frigorífico, foram encontrados alguns trabalhos como o de Fernandes (2006), que teve como objetivo implementar um modelo computacional para simular a dinâmica operacional de uma linha industrial de abate de suínos. O modelo implementado foi do tipo dinâmico, discreto e estocástico. Este modelo simulou 34 operações unitárias e foi estruturado com o uso da linguagem de simulação EXTENDTM. Para validação do modelo foram coletados dados relativos a vários dias de operação. Como parâmetros de comparação entre os dados obtidos a partir do sistema e gerados pelo modelo foram selecionadas algumas variáveis. De acordo com os resultados das análises procedidas para a validação do modelo computacional implementado, foi possível concluir que o mesmo pode ser aplicado para simular a dinâmica operacional de linhas industriais de abate de suínos, especificamente na previsão das seguintes variáveis: (i) tempo de duração da operação; (ii) tempo de deslocamento da insensibilização até a depiladeira; (iii) tempo de deslocamento da insensibilização até a câmara fria; (iv) número de carcaças re-inspecionadas; e (v) número final de carcaças. Na validação do modelo, foi constatado que, para a variável tempo de duração da operação por meio do teste Tukey a 1% de significância, não foram detectadas diferenças estatísticas entre os valores obtidos do sistema real e os gerados pelo modelo. Considerando-se esta e outras análises, foi concluído que o modelo se aplica a finalidade para a qual foi implementado. Nesta mesma linha de trabalho (GONCALVES, 2014) encontra-se exemplo na literatura de projeto utilizando as técnicas de simulação estocástica e dinâmica operacional, onde se avaliou a linha de esartejamento de uma indústria de abate suíno, utilizando a ferramenta Arena®, e foram cronometradas as quantidades de carcaças

recepcionadas na estação de trabalho, velocidade e comprimento da esteira transportadora, tempos de retirada e acabamento da paleta, e tempos que a carcaça leva para percorrer a esteira. Em seguida, os mesmos foram analisados, utilizando a ferramenta Output Analyzer, do software ARENA®. Também foram medidos pesos de quatro tipos de cortes específicos, sendo eles, paleta, pernil barriga com costela e carré com sobre paleta, e cronometrou-se o tempo de cinco funcionários que realizam a desossa da paleta, onde a partir destes dados, realizou-se o controle estatísticos de cada processo. A partir da simulação constatou-se que o sistema atual utilizado pela empresa, é por sua vez, o mais viável e recomendável, quanto a alocação de funcionários, recursos e materiais. Em relação a análise estatística de pesos médios dos cortes e avaliação dos funcionários no setor de desossa da paleta, observou-se que ambos seguem o padrão determinado pela empresa. Vale destacar neste caso que o trabalho se limitou apenas a estes 4 tipos de cortes e também avaliou uma pequena quantidade de funcionários, e não toda a cadeia.

Uma característica importante deste processo que foi abordada nesta pesquisa, o processo de criação e abate de animais, é a grande variabilidade existente (CALLEL,2016). A cadeia de criação de animais também é um grande desafio, incluindo dezenas de variáveis que coexistem durante o processo de crescimento e interferem na performance do processo gerando grande impacto financeiro no negócio de criação e abate. Considerando este caso específico, Canellas (2014), em sua tese de Doutorado, realizou uma modelagem e simulação para análise de sistemas de recria-terminação de bovinos de corte. O foco do trabalho foi criar um modelo para simular intervenções de manejo e analisar o resultado em sistemas de recria-terminação de bovinos de corte, servindo como sistema de apoio a decisão (SAD). O modelo foi dividido em 3 módulos: sistemas de alimentação; desempenho animal e análise econômica , sendo que o objetivo era gerenciar individualmente a alimentação dos animais , analisar a demanda por alimentação do rebanho e confrontar a demanda com a capacidade de suporte e fornecer o resultado econômico do sistema. O modelo proposto permitiu que as intervenções realizadas no gerenciamento da alimentação do rebanho, preços e desempenho animal de sistemas de recria-terminação fossem manejadas de forma conjunta e analisadas dentro de uma visão sistêmica . Citando também a cadeia de abate de aves, o trabalho apresentado por Boiko *et al* (2011) abordou a aplicação do balanceamento de linha em um frigorífico de aves, no setor de corte de asas (não contemplou toda a linha) com presença de sublinhas alimentadoras e critério de desempenho de minimização da ociosidade. A pesquisa teve como foco a aplicação do balanceamento de linha para

melhoria de eficiência dos postos de trabalho. Foi aplicada a minimização total do tempo ocioso para um tempo fixo de ciclo (considerando uma determinada taxa de produção). Com a aplicação do balanceamento de linha, os autores identificaram oportunidade de realocação de funcionários entre os postos reduzindo tempos de espera e aumentando a eficiência geral da linha. Mas não foi utilizado nenhum recurso de simulação e também a questão de fixação da taxa de produção não é a característica mais comum deste tipo de processo. Em outro trabalho encontrado na literatura, Luersen (2011) aplicou o balanceamento de linha em um frigorífico de suínos, onde teve por objetivo realizar uma análise sobre o setor de embalagens de carne, no qual utilizou o software Pro Model para tomadas de decisões. Diante dos cálculos computacionais, os autores chegaram a uma redução de quatro colaboradores no processo, deixando assim os postos operativos com um fluxo de produção mais balanceado. Porém o escopo do trabalho se concentrou apenas na embalagem final do corte (apenas 24 funcionários) não avaliando a parte inicial de abate e também não foi citado possíveis efeitos do balanceamento como acúmulo de carcaças a serem processadas, em algum ponto do processo. Mas apesar do escopo limitado a uma etapa do processo, a simulação computacional permitiu calcular a taxa de ocupação inicial dos colaboradores, que foi o ponto de partida para a proposta de melhoria e rearranjo do layout.

Outra área de produção frigorífica em plena expansão no Brasil, é o de peixes. Neste tipo de negócio, já se encontra na literatura, aplicações de modelagem e simulação como ferramenta de auxílio de tomada de decisão e melhoria de performance do processo. No ramo da tilapicultura (criação industrial de tilápias para corte), foi desenvolvido um trabalho (PEREIRA; DA COSTA, 2012) com o objetivo central de testar e validar um modelo de simulação para auxiliar na tomada de decisões sobre a programação da produção de um frigorífico de peixe. Foi utilizado para a pesquisa, o estudo de caso e a modelagem/simulação, incluindo neste conjunto, o SimuCAD e as etapas de desenvolvimento de um modelo de simulação. Com a construção do modelo foi possível trabalhar diversas alternativas de cenários, testando diferentes jornadas de trabalho, tipos de fluxos e de capacidade produtiva, além de variações do estoque final com relação às vendas. Como resultado, obteve-se um modelo de simulação útil e diferenciado para auxiliar na tomada de decisão sobre a programação da produção do frigorífico de peixe estudado. O software de simulação utilizado foi o Arena, pois comporta as características presentes no frigorífico, quanto à aleatoriedade associada à matéria-prima e às vendas, sendo possível à análise dinâmica

do sistema produtivo utilizando variáveis de estado determinísticas e estocásticas. O modelo foi conceituado de acordo com as características do sistema utilizando a modelagem discreta, estocástica e dinâmica, composta de uma parte lógica, da qual são gerados os dados para análise estatística, e outra com uma animação para melhor visualizar o fluxo do processo e os resultados das variáveis durante a simulação. Após sua construção o modelo foi validado foi executado e ao término da simulação obtiveram-se resultados coerentes com o esperado. A pequena porcentagem de erro resultante, neste caso, no máximo 1,25%, foi devido à variabilidade dos pesos dos filés, sendo que a variável é composta pela média dos tempos padrões. O modelo de simulação desenvolvido respondeu aos objetivos estabelecidos, gerando resultados confiáveis e úteis para auxiliar na tomada de decisões sobre a programação da produção do frigorífico em estudo. Este modelo também pode ser empregado em outras empresas com processos produtivos análogos ao estudado. Tendo por base o referencial teórico elaborado, a pesquisa desenvolvida e o objetivo proposto foram possíveis: gerar cenários de produção mais confiáveis; testar diversas variáveis de controle; aproveitar melhor os recursos e quantificá-los; obter planos de produção semanais ou diários; verificar a capacidade do sistema; analisar o estado dos estoques; e determinar a quantidade de matéria-prima necessária. Tudo isso identificando se será necessário adquirir mais mão de obra, fazer horas extras, utilizar os colaboradores em tempo parcial, ou seja, identificar através dos resultados gerados pela simulação um método de ajuste da capacidade. Tais decisões afetam os custos, as receitas, o capital de giro, a qualidade, a velocidade, a confiabilidade e a flexibilidade do sistema produtivo. Diante deste contexto, tomadas de decisão através das informações geradas pelo modelo de simulação aqui construído podem atender bem as expectativas de desempenho da empresa.

Analisando a fundamentação apresentada, foram encontrados diversos trabalhos que em áreas das mais variadas, com o objetivo de melhorar o resultado final de seus processos, em que foram propostos arranjos de integração de balanceamento de linha integrando recursos de máquinas, mão de obra e lay out, utilizando os benefícios da simulação e otimização de processos para antecipar os resultados obtidos com a aplicação destas metodologias. Vale destacar que não se encontrou, um trabalho na área de abate que tenha determinado todos os passos necessários proposto para a modelagem de toda a planta, o que chame-se de modelagem porta a porta(neste caso, do recebimento até a expedição), consolidando a visão global de toda a planta com a possibilidade de se utilizar o modelo como ferramenta de avaliação de desempenho diário,

conforme proposto por este projeto de pesquisa, reforçando a oportunidade que se tem de ampliar os estudos já realizados, para este tamanho de abate e número de cortes, conforme proposto, contribuindo para o estado da arte da modelagem e simulação aplicados em linhas de abate.

## 2.2 CONCEITO DE SIMULAÇÃO E MODELAGEM

Pode-se conceituar como simulação computacional de sistemas ou simplesmente simulação, a utilização de determinadas técnicas matemáticas empregadas com recursos de hardware e software, as quais permitem imitar o funcionamento de praticamente qualquer tipo de operação ou processo (sistemas) do mundo real (FILHO, 2008).

Em um conceito mais antigo (PEGDEN et al, 1990), simulação seria o processo de montar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos utilizando este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação. Estas estratégias devem ser transformadas em relações lógicas e matemáticas constituídas em modelos computacionais com o objetivo de entender e avaliar o comportamento do sistema atual e, posteriormente, modificando suas variáveis de entrada, obter respostas específicas que podem atender ou não aos objetivos do modelo. Considerando que o processo real a ser modelado e simulado é muito complexo, em muitos casos, o processo de modelagem exige uma série de simplificações sobre o sistema, podendo ocorrer redução da confiabilidade dos resultados em muitos modelos computacionais. A amplitude do conceito de modelagem foi evoluindo junto com o surgimento de novas aplicações, ao que se começou a chamar de realidade virtual (NETTO et al, 1998), por sua flexibilidade de utilização dentro das indústrias dos centros de pesquisas e também para desenvolvimento de produto. Um ponto a ser abordado seria em relação a como maximizar os benefícios da simulação dentro da organização, considerando que, em geral, se requer um investimento considerável no desenvolvimento de um modelo de simulação. Os desenvolvimentos recentes em software de simulação, em especial na última década, em termos de melhorias na usabilidade e integração com dados organizacionais, visam aumentar a viabilidade de um papel mais amplo para a simulação, e reduzir as barreiras organizacionais existentes para adotar como uma prática de rotina de tomada de decisão. Greasley (2004) cita como exemplo, o projeto desenvolvido na empresa estudada, onde o modelo de simulação poderia ser ampliado e usado em outra área, ou como parte do processo de treinamento e educação. Mas este foi visto

como uma ferramenta de tomada de decisão para aquele projeto em específico, que após executado, foi considerada redundante, demonstrando que havia de fato uma visão gerencial a ser desenvolvida para a simulação ser uma ampla ferramenta de tomada de decisão em diversas áreas da empresa.

Outro conceito importante a ser destacado é a classificação dos modelos em contínuos e discretos. A caracterização de um modelo é dada em função da maneira com que ocorrem as mudanças nas variáveis de estado do sistema (FILHO, 2008). Em modelos contínuos, o estado do sistema pode mudar continuamente com o tempo. Tem-se como exemplo: o nível de um reservatório com fluxo de água entrando e saindo, ocorrendo precipitação e evaporação. Em um modelo discreto, as mudanças só ocorrem com a separação de pontos no tempo, tal como no sistema de fabricação de peças chegando e saindo em tempos específicos. Nestes modelos, as variáveis de estado se mantêm inalteradas ao longo de intervalos de tempo e mudam seus valores somente em momentos bem definidos, também conhecidos como tempo de ocorrência do evento. A simulação também pode ter aplicação em sistemas com perfil totalmente discreto, mas ainda em sistemas contínuos que, de alguma forma, permitam tornar seus estados discretos. Para melhor se entender o significado desta observação, podem haver mudanças de elementos contínuos e discretos, ambos no mesmo modelo, os quais são chamados modelos mistos contínuos e discretos. Na simulação contínua, o sistema é observado buscando identificar os blocos que representam termos de equações diferenciais, interligando depois esses blocos de forma a criarem o modelo. Já em simulação estatística, se pretende descrever, através de distribuições estatísticas, os vários parâmetros que constituem esse sistema. Na simulação discreta o foco está para a identificação e a descrição dos elementos que, do ponto de vista funcional, caracterizam e são responsáveis pela dinâmica desse sistema.

No escopo desta pesquisa serão tratados modelos discretos. Uma planta industrial onde os principais elementos são os fluxos de materiais e a atividades dos colaboradores.

### **2.2.1 Elementos básicos da simulação**

Conceitualmente, existe uma série de elementos básicos envolvidos na modelagem e simulação de sistemas (LAW; KELTON, 1999):

Variáveis de estado: É aquele conjunto de variáveis necessárias à compreensão do que está ocorrendo no sistema num determinado instante de tempo, com relação aos objetos do estudo;

Eventos: Um evento é composto por acontecimentos, programados ou não, que quando ocorrem, provocam uma mudança de estado no sistema;

Entidades e Atributos: Um sistema é formado de um conjunto de entidades explicitamente definida. Neste sistema, uma entidade representa um objeto que pode ser dinâmico, movendo-se através do sistema, ou estática, servindo outras entidades. Atributos são características próprias das entidades. São dados que fazem parte das variáveis de estado do sistema;

Recursos e filas de recursos: Um recurso é uma entidade estática que fornece serviço às entidades dinâmicas. Uma fila de espera é uma coleção de entidades com alguma característica em comum como, por exemplo, chamadas em espera numa central de atendimento;

Atividades e tempo de espera: Uma atividade é um período de tempo predeterminado antes de sua execução e seu final pode ser programado. A duração pode ser uma constante, como pode não o ser, pois pode ser resultado de uma expressão matemática, um valor aleatório com base em uma distribuição de probabilidades, etc.

Tempo real simulado e tempo de simulação: O tempo simulado é o tempo real a ser simulado e deve ser distinguido do tempo de simulação que representa o tempo total necessário à execução de um experimento no computador.

### **2.2.2 Passos para executar a simulação**

Para se formular a simulação de um processo, é necessário delinear uma sequência de etapas (BANKS et al, 2005):

- Formulação do problema;
- Formulação dos objetivos;
- Coleta de dados;
- Modelagem e codificação;
- Verificação e validação do modelo;
- Experimentação e análise;
- Documentação e recomendações.

A formulação do problema é onde se inicia todo modelo de simulação, formando os primeiros conceitos do escopo do trabalho. Na sequência é feito a formulação dos objetivos, onde são definidos de forma



clara os objetivos da simulação, sua abrangência de escopo e os recursos disponíveis para se trabalhar no modelo. A coleta de dados é uma etapa fundamental, onde são reunidos os dados disponíveis que serão processados.

Uma vez feita a formulação do problema, a coleta dos dados deve ter uma quantidade suficiente de dados e ter sua confiabilidade testada, lembrando que este item é premissa básica para se formar um modelo que represente o processo real com a acurácia desejada.

Depois deve ser feita a formulação do modelo conceitual onde será feito um esboço inicial do sistema, a definição dos componentes e a descrição das variáveis e interações lógicas que constituem o sistema. Esta é uma fase crítica do projeto, pois é um momento que se exige conhecimento do processo e da técnica de simulação, considerando as inter-relações entre as variáveis internas e o meio em que estas variáveis interagem. Após esta etapa, há a validação do modelo, onde a principal questão a ser respondida é saber se este atende aos objetivos pré-estabelecidos da simulação, representando corretamente o sistema em estudo. Nesta etapa devem ser feitos testes de validação com o modelo, verificando sua consistência em representar o processo real em estudo. Após validado, procede-se a experimentação do modelo, onde são feitas simulações para a análise das informações que foram geradas pelo modelo. Por fim, é necessário se estruturar uma boa base de documentação, para se garantir informações para novos trabalhos e melhorias.

### 2.3 O PROCESSO DE ABATE DE ANIMAIS

O abate e industrialização de animais no Brasil é uma importante atividade, que envolve uma cadeia completa com muitos desafios, entre eles o de torná-la mais produtiva, visto que esta criação e abate em nosso País é uma cultura antiga de séculos passados, que começou a se modernizar a poucas décadas. Em 2016 foram abatidos 5,86 bilhões de cabeças de frango, ocupando o posto de primeiro lugar em exportação global de carne de frango. O abate de suíno neste mesmo ano chegou 42,3 milhões de cabeças, um recorde histórico. E finalmente o abate de bovinos foram 26,7 milhões de cabeças em 2016. Esses números reforçam o quanto importante é o investimento em pesquisas que contribuam para o desenvolvimento sustentável e competitivo do negócio.

### **2.3.1 Origem e histórico do abate de animais no Brasil**

A produção de carne existe no Brasil desde o início da nossa civilização, sendo consumidas pela população brasileira desde então, tendo inicialmente apresentado disseminação inicial em Minas Gerais (nas regiões de garimpo). A indústria frigorífica, no Brasil, surgiu na década de 1910, e antes desse período, haviam no país as charqueadas primitivas, e os matadouros municipais, que faziam o abastecimento local sem um efetivo controle sanitário, que de início foi um fato que dificultou o crescimento mais acelerado do negócio. A referência técnica de mais tecnologia começou a vir da Europa quando foram instalados os primeiros frigoríficos com base em projetos e equipamentos importados. Mas os matadouros municipais foram importantes no abastecimento das capitais, mas operavam em condições pouco higiênicas, sem inspeção sanitária, produzindo para consumo imediato, exceto pelas carnes salgadas, de maior tempo de conservação, havendo por este motivo um baixo aproveitamento dos subprodutos.

Em relação a carne bovina, houve uma grande evolução nos últimos 40 anos no Brasil. Antes da década de 70 se tinha menos da metade do rebanho atual, cuja produção não atendia a demanda da população brasileira. Desta forma, pode-se considerar que nas últimas quatro décadas, a pecuária bovina sofreu uma modernização revolucionária sustentada por avanços no nível tecnológico dos sistemas de produção e na organização da cadeia, com claro reflexo na qualidade da carne bovina. Em termos de rebanho, seu efetivo mais que dobrou nas últimas quatro décadas, enquanto que a área de pastagens pouco avançou ou até diminuiu em algumas regiões, o que por si comprova grande salto em produtividade. O aumento em produtividade também se baseia em outros elementos importantes, como o aumento do ganho de peso dos animais, a diminuição na mortalidade, o aumento nas taxas de natalidade e também na expressiva diminuição na idade ao abate, com forte melhora nos índices de desfrute do rebanho, evoluindo de aproximadamente 15% para até 25%. Todos esses ganhos foram possíveis graças a crescente adoção de tecnologias pelos produtores rurais especialmente nos eixos de alimentação, genética, manejo e saúde animal. Na alimentação dos nossos rebanhos, grandes avanços ocorreram a partir do melhoramento das pastagens existentes, como pela adoção de capins selecionados e desenvolvidos por meio da pesquisa científica no Centro-Oeste brasileiro, e que alavancaram a capacidade de suporte e também o desempenho animal. Em conjunto, avanços na suplementação alimentar a pasto

(mineral e proteica) e em tecnologias de terminação intensiva, como semi-confinamento e confinamento, agregaram maior produtividade e foram decisivos para a diminuição na idade de abate, o que está intimamente ligado ao incremento da qualidade da carne brasileira.

Com referência a suinocultura, no final do século XIX e início do século XX, com a imigração europeia para os estados do Sul, ajudou na evolução. Esses imigrantes vindos principalmente da Alemanha e da Itália trouxeram para o Brasil os seus hábitos alimentares de produzir e consumir suínos, bem como um padrão próprio de industrialização. Até nos anos 1970 a suinocultura era uma atividade de duplo propósito. Além da carne, fornecia gordura para o preparo dos alimentos (esta inclusive era demanda mais relevante). A partir dos anos 1970, com o surgimento e difusão dos óleos vegetais, a produção de suínos como fonte de gordura perdeu espaço, sendo quase que totalmente eliminada do padrão de consumo da população brasileira. Durante este período, os suínos passaram por uma grande transformação genética e tecnológica e desde então perderam gordura e ganharam músculos, em sua estrutura fisiológica. Mas, estas mudanças na genética e na produção de suínos ainda não foram totalmente percebidas pelos consumidores brasileiros e esse fato aliado aos preconceitos em relação ao efeito da carne suína sobre a saúde humana (a percepção popular de que a carne suína faz mal) fez com que o consumo de carne suína no Brasil tenha ficado praticamente estagnado nos anos 1980 e 1990). Além disso, os anos 1980 foram marcados pela crise macroeconômica na economia nacional (alta inflação e déficit na balança de pagamentos) que resultou em um crescimento insignificante da renda dos consumidores brasileiros. Devido a todos esses problemas, a demanda do mercado pela carne suína somente apresentou um crescimento mais significativo a partir de meados da década de 1990, induzido pela queda de preços deste produto ao consumidor final e a ações lançadas pelos próprios suinocultores (EMBRAPA, 2013).

E em relação a avicultura no Brasil, desde o princípio da produção de frangos de corte no Brasil, a cadeia avícola – da granja ao prato – modernizou-se pela necessidade de redução de custos, ganho de produtividade e ao atendimento de exigentes consumidores, preocupados com a segurança alimentar. Garantida esta competitividade, já que a avicultura nacional é uma das mais organizadas no mundo, destacando-se pelos resultados alcançados em indicadores de produtividade, volume de abate e no desempenho social, ambiental, sanitário e econômico, e contribuindo com a agricultura por ter insumos como milho, o sorgo, a soja, milheto, dentre outros, na geração dessa proteína animal. O mercado

interno – maior demanda da nossa produção – tem mudado o hábito de consumo, passando de, preponderantemente, consumidor de carne bovina para a carne branca do frango. O Brasil é um grande exportador de frango e existe ainda muita área para ser explorada na criação e industrialização, fato que não ocorre em outros países e continentes por falta de espaço, água, mão-de-obra, insumos e condições climáticas.

O processo de modernização e de produção em escala da avicultura no País começou na década de 30, em razão da necessidade de abastecer os mercados que já eram gigantescos na época. A partir dos anos 50, a avicultura brasileira ganhou impulso com os avanços da genética, com o desenvolvimento das vacinas, nutrição e equipamentos específicos para sua criação. As grandes agroindústrias avícolas brasileiras ganharam estrutura no início dos anos 60. Hoje, os frangos de corte são abatidos com cerca de 37 dias de idade e peso médio de 2,4 quilos.

### **2.3.2 O processo de abate e industrialização de cortes e suas principais características**

O abate de animais, é realizado para obtenção de carne e de seus derivados, destinados ao consumo humano. Estas operações, são regulamentados por uma série de normas sanitárias destinadas a dar segurança alimentar aos consumidores destes produtos. Assim, os estabelecimentos do setor de carne e derivados em situação regular, trabalham com inspeção e fiscalização contínuas dos órgãos responsáveis pela vigilância sanitária (municipais, estaduais ou federais). Como consequência das operações de abate para obtenção de carne e derivados, originam-se vários subprodutos e/ou resíduos que devem sofrer processamentos específicos: penas, couros, sangue, ossos, gorduras, aparas de carne, tripas, animais ou suas partes condenadas pela inspeção sanitária, etc. Normalmente, a finalidade do processamento e/ou da destinação dos resíduos ou dos subprodutos do abate é função de características locais ou regionais, como a existência ou a situação de mercado para os vários produtos resultantes e de logística adequada entre as operações. Por exemplo, o sangue pode ser vendido para processamento, visando a separação e uso ou comercialização de seus componentes (plasma, albumina, fibrina, etc.), mas também pode ser enviado para serem usados como graxaria para produção de farinha de sangue, usada normalmente na preparação de rações animais. De qualquer forma, processamentos e destinações adequadas devem ser dadas a todos

os subprodutos e resíduos do abate, em atendimento às leis e normas vigentes, sanitárias e ambientais. Algumas destas operações podem ser realizadas pelos próprios abatedouros ou frigoríficos, mas também podem ser executadas por terceiros. Os abates frigoríficos, que é o processo em estudo neste trabalho, podem ser divididos em dois tipos: os que abatem os animais, separam sua carne, suas vísceras e as industrializam, gerando seus derivados e subprodutos, ou seja, fazem todo o processo dos abatedouros/matadouros e também industrializam a carne; e aqueles que não abatem os animais, compram a carne em carcaças ou cortes, bem como vísceras, dos matadouros ou de outros frigoríficos para seu processamento e geração de seus derivados e subprodutos - ou seja, somente industrializam a carne;

As principais etapas serão aqui descritas para melhor entendimento (CETESB, 2006) durante a abordagem do foco do trabalho de modelagem e simulação.

-Recepção dos animais:

A recepção dos animais, oriundos do campo, onde foram criados com o objetivo de abate, deve ser feita da forma mais rápida possível para que o estresse pré-abate se reduza. O ambiente deve ser sombreado e possuir ventiladores, procurando criar um microclima favorável. Além disso, os nebulizadores devem ser acionados, para que a umidade se normalize e, assim, evitar mortalidade pré-abate

-Condução e Lavagem dos Animais:

Para o caso de suínos, bovinos e caprinos, os animais são conduzidos para um corredor dividido por estágios entre portões, o que permite sua condução em direção ao abate mantendo a separação por lotes. Esta passagem vai afunilando-se, de forma que, na entrada da sala de abate, os animais andem em fila. Durante o percurso, os animais normalmente são lavados com jatos e/ou “sprays” de água clorada. Estes jatos, com pressão regulada, podem ser instalados direcionados de cima para baixo (como chuveiros sobre os animais), para as laterais dos animais e de baixo para cima, o que permite uma lavagem melhor do esterco e de outras sujidades antes do abate. Os efluentes líquidos desta etapa seguem para a ETE. No caso das aves, ocorre nesta fase a pendura, onde são pendurados pelas pernas em suportes ligados à nória. No entanto, para evitar lesões nas coxas, o manuseio das aves deve ser firme, mas com cuidado para que o animal não se debata, vindo a se machucar. Estresse e injúrias diminuem a qualidade da carcaça, enquanto fugas e debatimentos prejudicam o rendimento do trabalho de recepção e pendura.

-Atordoamento dos animais:

Os animais entram, um após o outro, para o atordoamento. Esta operação também pode ser feita com um tipo de imobilizador que funciona de forma contínua. O atordoamento dos animais normalmente é realizado por descarga elétrica. Além deste, existe um outro método de atordoamento em que os animais são colocados em uma câmara com atmosfera rica em gás carbônico, sendo atordoados por falta de oxigênio.

-Sangria:  
Os animais são pendurados em trilho aéreo, ou podem ser feitas em mesas ou bancadas apropriadas para a drenagem do sangue.

-Escalda:

Após tempo suficiente de sangria, os animais saem do trilho e são imersos em um tanque com água quente, em torno de 65° C, para facilitar a remoção posterior dos pelos e das unhas ou cascos e penas, no caso das aves. Parte de eventual sujidade presente no couro ou pena dos animais fica na água deste tanque.

-Depilagem/Depenagem:

Após passarem pela escalda, os animais passam pelo processo para remoção da pele/couro ou penas em uma máquina de depilação ou depenagem (aves), que consiste de um cilindro giratório, com pequenas pás retangulares distribuídas pela sua superfície, dotadas de extremidades de borracha. A rotação deste cilindro provoca o impacto destas pás com o couro/penas dos animais, removendo boa parte dos por atrito. Após a passagem por esta máquina, as unhas ou cascos (suínos/bovinos), bem como parte dos pelos remanescentes, e penas remanescentes no caso de aves, são removidos manualmente por operadores na linha de produção. Então, os animais são novamente içados e recolocados no trilho aéreo de transporte para a continuidade do processamento.

-Evisceração:

Nesta etapa, abre-se a barriga dos animais e as vísceras são removidas. Neste ponto, pode haver ou não a remoção das cabeças. Normalmente, as vísceras são colocadas em bandejas da mesa de evisceração, onde são separadas, inspecionadas e encaminhadas para seu processamento, de acordo com o resultado da inspeção. No caso de bovinos e suínos, o processamento dos intestinos gera a produção de tripas, normalmente salgadas, utilizadas para fabricação de embutidos ou para aplicações médicas.

-Corte da Carcaça e Refrigeração:

Em seguida as carcaças são serradas longitudinalmente, seguindo-se a espinha dorsal, e divididas em duas meias carcaças (bovinos e suínos). Remove-se a medula e o cérebro dos animais e as carcaças são limpas com facas - algumas aparas ou apêndices são removidos. Estas carcaças

são então lavadas com água sob pressão e encaminhadas para refrigeração em câmaras frias, com temperaturas controladas para seu resfriamento e sua conservação.

-Cortes e Desossa:

Havendo operação de cortes e desossa, as carcaças resfriadas são divididas em porções menores para comercialização ou posterior processamento para produtos derivados. A desossa é realizada em geral manualmente, consumindo muita mão de obra, mas atualmente já existem tecnologias para desossa parcial automática. As aparas resultantes desta operação são geralmente aproveitadas na produção de derivados de carne. Os ossos e partes não comestíveis são encaminhados à área de graxaria, para serem transformados em sebo ou gordura animal industrial e farinhas para rações.

-Estocagem / Expedição:

As carcaças, os cortes e as vísceras comestíveis, após processadas e embaladas, são estocadas em frio, aguardando sua expedição.

-Processos de Limpeza e Higienização:

Todos os equipamentos de processo, “containers”, etc., devem ser limpos e higienizados várias vezes durante o dia e após o encerramento do dia de trabalho, como preparação para o dia seguinte. Estas operações de limpeza e desinfecção são normalmente regulamentadas pelas autoridades sanitárias responsáveis pela fiscalização das indústrias alimentícias. Além disso, também por motivos de higiene, muitos operadores de abatedouros e frigoríficos lavam as áreas de processo com água quente durante paradas de produção. Uma rotina típica de limpeza em um abatedouro ou frigorífico é descrita na sequência: Pequenas aparas ou fibras de carne e de gordura, resíduos que caem no piso das áreas de processo, são removidos com rodos ou escovões, recolhidos com pás e colocados em recipientes específicos, sendo destinados para as graxarias ou para outra finalidade. Em algumas empresas, estes resíduos são removidos e arrastados com jatos de água para os drenos ou canaletas, que podem ou não ser providas de grades, telas ou cestos para retê-los. Algumas áreas também são lavadas levemente com jatos de água, a intervalos de tempo regulares, durante o turno de produção, bem como algumas grades, telas ou cestos de drenos são limpos ou esvaziados para “containers” de resíduos. É comum o uso de telas, grades ou cestos com aberturas de 4mm e, em algumas unidades produtivas, pode-se encontrar dispositivos com malhas montadas em dois estágios – o primeiro com malha mais aberta e, o segundo, com malha mais fechada, para capturar resíduos menores; Ao final de cada turno de produção, todas as áreas de

processo e equipamentos são primeiramente enxaguados, usando-se água de mangueiras com baixa pressão e os resíduos de todas as grades ou cestos de drenos são removidos e dispostos em “containers”. A seguir, aplica-se uma solução diluída de um detergente apropriado, na forma de espuma, sobre todas as superfícies e equipamentos. Após cerca de 20 minutos, as superfícies e equipamentos são enxaguados com água quente a alta pressão; em algumas empresas, após o enxágue final, uma solução bem diluída de um composto sanitizante ou desinfetante é espalhada, como “spray”, nas superfícies enxaguadas, deixando-se que seque naturalmente sobre elas.

Em muitos abatedouros ou frigoríficos, os ganchos de transporte, correntes, bandejas, “containers”, outros utensílios e equipamentos são limpos e higienizados de forma semelhante. Em algumas unidades, alguns utensílios e equipamentos ficam imersos em soluções sanitizantes, após sua limpeza. Somente agentes de limpeza com grau alimentício podem ser utilizados. Existe uma grande variedade de insumos de limpeza disponíveis. Alguns possuem formulação química tradicional, utilizando-se de produtos tenso ativos e sanitizantes comuns (por exemplo, à base de alquil-benzeno-sulfonatos e de hipoclorito de sódio, respectivamente), alguns utilizam princípios ativos mais complexos e outros são de base biotecnológica (com enzimas, por exemplo). Há produtos formulados para situações específicas, para algum problema de limpeza difícil, enquanto outros são direcionados para usos diversos. De forma geral, o nível de limpeza e higienização alcançado depende de uma combinação de vários fatores, como: tipos e quantidades de agentes de limpeza utilizados, tempo de ação destes produtos, quantidade e temperatura da água e o grau de ação mecânica aplicada, seja via pressão da água ou via equipamentos manuais, como esponjas, escovas, vassouras e rodos. Normalmente, quando a ação ou a intensidade de um destes componentes é diminuída, a de algum outro deve ser aumentada para que se atinja um mesmo resultado na limpeza (compensação). Porém, aumento da pressão da água pode afetar o ambiente de trabalho, pelo aumento de ruído e formação de aerossóis, que podem eventualmente danificar equipamentos elétricos ou causar contaminação de produtos. Desta forma, sendo desejável a diminuição do consumo de água, cuidados devem ser tomados para minimizar eventuais consequências indesejadas, viabilizando ações como esta. Quando se realiza uma revisão dos agentes de limpeza, é comum descobrir que a mudança ou substituição de algum deles por outro mais apropriado pode reduzir a quantidade de produtos de limpeza a serem utilizados e, em alguns casos, até melhorar os padrões atuais de higiene. Outro fato comum é verificar o uso de quantidades de produtos



maiores do que as necessárias, principalmente quando as dosagens destes produtos são manuais. Dosagens automáticas, uma vez reguladas adequadamente, eliminam o uso adicional ou desperdício destes produtos, diminuindo seu impacto ambiental potencial e custos com sua aquisição, além de contribuir para condições mais seguras de trabalho, pois minimizam o manuseio e a exposição dos trabalhadores a substâncias perigosas. De qualquer forma, treinamento e supervisão da equipe de operação são essenciais. Portanto, frequentemente há oportunidades de redução de impacto ambiental dos agentes de limpeza através de sua seleção, substituição e aplicação adequadas. Também são práticas comuns da equipe responsável pela limpeza e pela higienização, a remoção de grades, telas ou cestos dos drenos e o direcionamento dos resíduos diretamente para eles, acreditando que um outro cesto gradeado mais à frente ou um peneiramento posterior reterá estes resíduos. No entanto, o que normalmente ocorre é que estes resíduos, uma vez nas linhas de efluentes das empresas, estão sujeitos a turbulências, bombeamentos, fricções, impactos mecânicos e aquecimentos (em contato com eventuais descargas quentes), o que provoca sua fragmentação, gerando mais substâncias em suspensão e em solução com alta carga orgânica, que não são mais retidas por gradeamentos e peneiramentos. Esta quebra dos resíduos é ainda mais acentuada se água quente for utilizada para transportá-los. Isto certamente aumentará o custo do tratamento dos efluentes líquidos da unidade industrial. Uma revisão dos procedimentos de limpeza e higienização pode também identificar se há um uso excessivo de energia para aquecer água e eventuais consumos altos e desnecessários de água.

## 2.4 REVISÃO DOS PRINCIPAIS SOFTWARES DISPONÍVEIS NO MERCADO

Ao longo das últimas duas décadas, a disseminação da simulação, como ferramenta de modelagem e análise de problemas em diferentes áreas, gerou o interesse de muitas empresas especializadas no desenvolvimento de softwares, resultando em dezenas de softwares comerciais de simulação de eventos discretos e contínuos com diferentes características, vantagens, desvantagens e custos. Vale lembrar que quando se cita no trabalho o termo software, deve se resgatar a situação de produtos de software prontos para o uso, que apresentam um conjunto de características funcionais e de qualidade pré-definidas pelo fornecedor, às quais o usuário se adapta durante o treinamento e sua aplicação. Em

relação a utilização do software no projeto de pesquisa em questão, as principais demandas são:

- ✓ Construção do modelo atual do processo;
- ✓ Avaliar o impacto global de mudanças no processo produtivo em estudo;
- ✓ Determinar a melhor configuração de variáveis de saída,
- ✓ Prover velocidade na tomada de decisão, com economia de tempo e investimento monetário;
- ✓ Auxiliar na alocação de recursos e prevenção de gargalos.

Neste estudo foram avaliadas fontes confiáveis de levantamento de softwares presentes no mercado, para a partir desta lista inicial, estabelecer critérios para escolha dos softwares mais adequados para o projeto de pesquisa em questão.

A fonte que se considerou mais precisa, devido a sua recente atualização foi o *survey* da Revista OR/MS Today, onde foram apontados 43 softwares disponíveis no mercado, com aplicações e versões diversas. Como o presente trabalho já tem seu escopo delimitado para a área de manufatura, os programas com foco específico não pertencentes a esta área, não foram pré-selecionados. Frente a este critério, com aplicação em manufatura, foram identificados 16 softwares que têm uma afinidade mínima com a área do trabalho em questão. Na Tabela 1 são apresentados estes softwares com o fornecedor e respectivas áreas de aplicação.

A questão que ainda deve ser avaliada é a decisão dos critérios de escolha do software. Um trabalho muito citado na literatura (BANKS, 1991), apresentou um conjunto de critérios para se avaliar os softwares de simulação onde ele classificou em 5 relevantes categorias:

Critérios de entrada;

Critérios de processamento;

Critérios de saída;

Critérios de suporte;

Critérios de custo.

Tabela 1.: Softwares disponíveis no mercado

Software	Fornecedor	Área aplicação
<b>Agpss</b>	aGPSS Simulation System	Educação, logística e suprimentos
<b>Analytica</b>	Lumina Decision Systems, Inc	Energética, econômica, manufatura, saúde, educação.
<b>Arena</b>	Rockwell automation	Defesa, Manufatura, Suprimentos, Saúde, Oleo e gás.
<b>Enterprise Dynamics 9</b>	INCONTROL Solutions	Manufatura, estocagem, suprimentos Portos e Aeroportos.
<b>Enterprise Portfolio Simulator (EPS)</b>	ProModel Corporation	Projeto & Portfolio Planejamento, Pesquisa estratégica de capacidade, desenv.produto
<b>ExtendSim AT</b>	Imagine That Inc.	Linhas de embalagem, processos químicos, distribuição, sistemas de design.
<b>ExtendSim OR</b>	Imagine That Inc.	Suprimentos e operação industrial, transportes, logística, lean, six sigma, custos
<b>FlexSim</b>	FlexSim Products, Inc.	Manufatura, embalagem, armazenagem, supply chain, logística, saúde, fabricação.
<b>GoldSim</b>	GoldSim Group	Engenharia ambiental, recursos hídricos, energia nuclear, gerenciamento desperdícios.

<b>Integrated Performance Environment (IPME)</b>	Alion Science	manufatura, defesa nuclear, controle trafego aéreo .
<b>Micro Saint Sharp</b>	Alion Science and Technology	Performance de pessoas , Supply Chains, Manufatura, Transportes.
<b>Oracle Crystal Ball Suite</b>	Oracle Corporation	Negócios , finanças, energia, farmaceutica, hospitais, defesa, manufatura
<b>Process Simulator</b>	ProModel Corporation	<b>Lean, SixSigma</b> , mapa de fluxo de valor, melhoria continua de processo
<b>ProModel Optimization Suite</b>	ProModel Corporation	Manufatura e logistica, lean, farmaceutica.
<b>Simio Express</b>	Simio LLC	Logistica,Pharma,alimentos,Aeroportos, Transportes, Automotivo, Electronica .
<b>SIMUL8 Professional</b>	SIMUL8 Corporation	Manufatura lean, Educação, Supply Chain.

Fonte: Survey Revista OR/MS Today (2013).

Neste caso, é ressaltado que o usuário deve ter o conhecimento para seu caso particular de processo, quais critérios são considerados relevantes e que devem ser avaliados. Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os critérios (total de 36) e seus significados, que são avaliados em cada categoria (BANKS, 1991).

Tabela 2: Detalhamento critérios de Banks (1991) - Critérios Entrada e Processamento

<b>Entrada</b>		<b>Processamento</b>	
<b>Critério</b>	<b>Significado</b>	<b>Critério</b>	<b>Significado</b>
<b>Interface com outros Softwares</b>	Compatibilidade com outros softwares	<b>Velocidade execução</b>	Ser rápido nas corridas, execução, etc.
<b>Capacidade análise</b>	Análise matemática e estatística dos dados iniciais	<b>Tamanho do modelo</b>	Tamanho que vai ocupar na memória do PC.
<b>Portabilidade</b>	Programa poder rodar em diversas configurações de hardware	<b>Capacidade manuseio materiais</b>	Inclusão de elementos esteiras, robôs, guindastes, entre outras.
<b>Síntaxe</b>	Terminologias do modelo ser de fácil entendimento e sem ambiguidade	<b>Gerador de variáveis aleatórias</b>	Incluir distribuições básicas e empíricas.
<b>Flexibilidade de entrada (interativa e batch)</b>	Entrada de dados não ter procedimentos complexos	<b>Tempo de aquecimento</b>	Permitir o descarte de observações registradas antes de atingir o estado estacionário
<b>Depuração interativa</b>	Permitir ao usuário controlar a execução do modelo e acessar dados internos.	<b>Replicações independentes</b>	Capacidade de executar a simulação repetidamente usando um conjunto diferente de números aleatórios

<b>Flexibilidade modelagem</b>	Se linguagem de simulação incluem processo de interação, orientado a eventos, e contínuo	<b>Variáveis globais</b>	Valores disponíveis para todas as operações movendo-se através do sistema.
<b>Concisão na modelagem</b>	Permitir o desenvolvimento de modelos compactos	<b>Programação de variáveis de características especiais</b>	Permitir usuário incluir variáveis especiais.
-----	-----	<b>Configuração de atributos às transações (entidades)</b>	-----
-----	-----	<b>Roteamento condicional</b>	Envio de transações para diferentes locais dependendo da condição fixada.

Fonte: Adaptado de Banks (1991).

Tabela 3: Detalhamento critérios de Banks (1991) – Critérios: saída, suporte e custo

Saída		Suporte		Custo	
Critério	Significado	Critério	Significado	Critério	Significado
<b>Relatórios padrão</b>	Medidas de desempenho, para melhor avaliação.	<b>Facilidade de uso</b>	Não requerer muito conhecimento por parte do usuário	<b>Aquisição da licença (valor)</b>	Desejável ser o menor possível
<b>Relatórios personalizados</b>	Poder adaptar relatórios de saída de apresentação para os gestores	<b>Facilidade de aprendizagem</b>	Relativa rapidez no aprendizado	<b>Requisitos de hardware</b>	Não exigir uma configuração de Hardware muito robusta, que onere muito o projeto.
<b>Análises estatísticas</b>	Análises estatísticas elementares	<b>Qualidade da documentação</b>	Dados confiáveis e organizados	<b>Tempo gasto aprendizagem software</b>	Software muito complexo que aumente o tempo de execução do projeto
<b>Geração de gráficos</b>	Barra, histograma, Cpk, Carta de controle, etc	<b>Capacidade de animação</b>	Facilidade em desenvolver	<b>Tempo necessário para</b>	Ser um tempo relativamente curto para haver



		<b>construção dos modelos</b>	<b>rápida evolução.</b>
<b>Arquivos compatíveis com planilhas</b>	Poder exportar dados do programa para planilhas e banco de dados.	figuras de qualidade.	
	<b>Ajuda on line</b>	Ser efetivo para tirar dúvidas.	-----
<b>Capacidade de rastreamento</b>	Mostrar cada caso e o estado da transação no momento do evento.	Estrutura oferecida para desenvolver aprendizado sobre o software	-----
	<b>Suporte técnico /treinamento</b>		-----
<b>Manutenção banco de dados</b>	Prever a cobrança da saída destes cenários de uma forma organizada	<b>Tutorial on line</b>	-----
		Ser efetivo e prático	-----

Fonte: Adaptado de Banks (1991).

Com base nos critérios apresentados, é sugerido a utilização de um modelo de pontuação (scoring model) para, a partir de uma lista com diversos softwares, restringir o escopo de busca em 2 a 4 opções. Assim, um valor entre 0 e 10 deve ser atribuído para cada critério, definindo um conjunto de pesos. A seguir, estes devem ser avaliados, por meio de uma pontuação entre zero e um, para cada um dos softwares. A pontuação bruta de cada critério (entre zero e um) deve ser multiplicada pelo peso associado e somada para cada uma das opções, obtendo-se uma lista com os softwares ordenados conforme o grau de atendimento aos critérios avaliados. A atribuição de pesos permite definir critérios dispensáveis (peso 0), ou seja, que não serão utilizados, e critérios essenciais para o sucesso do modelo de simulação (peso 10). Dessa forma, por intermédio da aplicação deste método, é possível reduzir o número de opções, que devem ainda passar por uma cuidadosa avaliação comparativa para seleção de qual software será utilizado no projeto de simulação.

O Critério de Banks foi um dos pioneiros, mas outros métodos foram desenvolvidos para a seleção de *softwares* de simulação de eventos discretos. Na tabela 4 abaixo é apresentado um resumo dos principais trabalhos sobre critérios de escolha de software encontrados na literatura:

Tabela 4: Resumo principais trabalhos sobre escolha de softwares

<b>Autor</b>	<b>Banks (1991)</b>	<b>Davis e Williams (1994)</b>	<b>Hlupic e Mann (1995)</b>	<b>Nikoukaran, Hlupic e Paul (1998)</b>
<b>Crítérios</b>	36 agrupados em 5 categorias	14 (agrupados em uma única categoria)	40 (agrupados em 11 categorias)	93 (agrupados em 7 categorias)
<b>Categorias</b>	Entrada; Processamento; Saída; Suporte; Custo	Características gerais	Características gerais; Aspectos visuais; Codificação; Eficiência; Assistentes; Recursos para testes; Entrada/Saída; Compatibilidade; Recursos para experimentos, ferramentas estatísticas, características e financeiras	Fornecedor; Desenvolvimento do modelo/Entrada; Execução; Animação; Eficiência e teste; Saída, usuário
<b>Seleção</b>	Em 2 fases: 1º) Atribuição de pesos e pontuação. 2º) Estudo detalhado para as 3 melhores opções (maior pontuação)	Em 2 fases: 1º) Seleção dos softwares que atendem as restrições de software, hardware e suporte local 2º) Uso do método de análise hierárquica (AHP)	Em 2 fases: 1º) Seleção dos softwares que atendem as características gerais 2º) Classificação segundo a prioridade atribuída aos critérios	Os autores não abordam; sugerem avaliar o método de análise hierárquica (AHP).

Fonte: Do autor (2015).

Foi observado uma significativa diferença entre o número de critérios utilizados por cada autor, aqui descrito, variando de 14 a 93 itens. Verificou-se também que, basicamente todos os autores abordaram questões ligadas às características gerais do software, entrada de dados, desenvolvimento do modelo, saída de dados, eficiência e teste, execução e suporte técnico, demonstrando uma linha de consenso que de fato esses são considerados os aspectos de avaliação mais essenciais. Outro ponto comum é a estratégia de avaliação, onde em quase todos os trabalhos, foram divididos em duas fases, onde na primeira fase avaliam todos os softwares disponíveis segundo critérios pré definidos, sendo agrupados de 4 a 8 softwares, que são melhores avaliados em uma segunda fase, onde os autores utilizam o método de atribuição de pesos e pontuação para tomada de decisão por múltiplo critério, ou utilizam o método de análise hierárquica (AHP), visto que este permite a identificação e correção de inconsistências durante a avaliação comparativa entre as características de cada software de simulação de eventos discretos. O que pôde ser visto também é que não existe uma forma de avaliação 100% perfeita e adequada. O avaliador terá que levar em consideração as características peculiares de seu processo e adaptar os critérios já existentes, incorporando alguns itens novos, que sejam importantes para o sucesso do uso da simulação no processo em questão.

Para este presente trabalho de pesquisa decidiu-se adotar o critério de Banks (1991), por sua facilidade de aplicação e principalmente pelos critérios utilizados, convergirem com as necessidades do escopo do trabalho. A aplicação do critério será demonstrada na sequência, quando da escolha do software.

### **2.4.1 A escolha do software**

Após pesquisa de critérios para escolha do software, foi adotado o de Banks (1991), com algumas adaptações que se fizeram necessárias, em função do escopo do projeto. Desta forma, foi aplicado o critério para se avaliar os 16 softwares pré-selecionados, sendo cada um pontuado conforme os critérios pré-estabelecidos e por fim chegou-se a um ranking final, conforme Tabela 5.

Observando a pontuação final, quatro softwares ficaram bem próximos e devido a esta pequena diferença, entende-se que estes atendem as necessidades do projeto de pesquisa. Porém, neste ponto a variável que acabou tendo o maior peso foi a econômica, ou seja, o custo de aquisição de uma licença profissional com todos os recursos

disponíveis de programação, simulação e alteração. A solução encontrada foi uma parceria com um fornecedor, e desta forma foi cedida uma licença do software *Flex Sim*® para condução do trabalho, além de assistência técnica e treinamento nos recursos do software. Este software atende a expectativa nos principais critérios avaliados como, entrada, processamento, saída e suporte, além do custo, que ficou muito mais acessível. Com o suporte deste software, o projeto foi desenvolvido com um aporte tecnológico robusto, conferindo maior confiabilidade nas etapas de construção do modelo inicial e também durante as fases de experimentação e validação.

Tabela 5: Pontuação final dos 16 softwares – Método adaptado de Banks (1991)

SOFTWARES AVALIADOS	Peso critério	Flex Sim		Process Simulator		Arena		SIMUL 8		ExtendSim AT		ProModel Suite		Extend Sim OR		Enterprise 9		Analytica		Crystal Ball		Simio Express		AGPSS		GoldSim		Saint Sharp		Enterprise		(PMB)	
<b>Categoria Entrada dados</b>																																	
Interface outros Softwares	9	7,2	7,2	5,4	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	6,3	7,2	7,2	7,2	7,2	3,6	5,4	4,5	4,5	6,3	4,5	4,5	4,5	6,3	4,5	4,5	4,5		
Capacidade análise	7	1,4	4,9	5,6	4,2	1,4	2,1	1,4	2,1	1,4	2,1	1,4	2,1	1,4	1,4	4,2	5,6	4,9	2,1	1,4	2,1	1,4	2,1	1,4	2,1	1,4	2,1	1,4	2,1	1,4	2,1		
Portabilidade	7	4,9	3,5	4,2	0,7	2,1	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,2	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5		
Depuração interativa	7	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	0,7	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5		
Flexibilidade modelagem	8	5,6	5,6	4,8	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	3,2	5,6	2,4	4	5,6	5,6	4	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6		
<b>Categoria Processamento</b>																																	
Velocidade de execução	7	3,5	2,5	3,5	2,5	3,5	2,5	3,5	2,5	3,5	2,5	3,5	2,5	3,5	2,5	3,5	3,5	3,5	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	
Tamanho do modelo	5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	
aplicação lean	10	10	10	7	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
<b>Categoria Saída dados</b>																																	
Relatórios padrão	7	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	
Análises estatísticas	6	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	
Geração de gráficos	8	4,8	6,4	6,4	5,6	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	4	4,8	5,6	4	4,8	5,6	4	4,8	4,8	4,8	6,4	4	4,8	6,4	4		

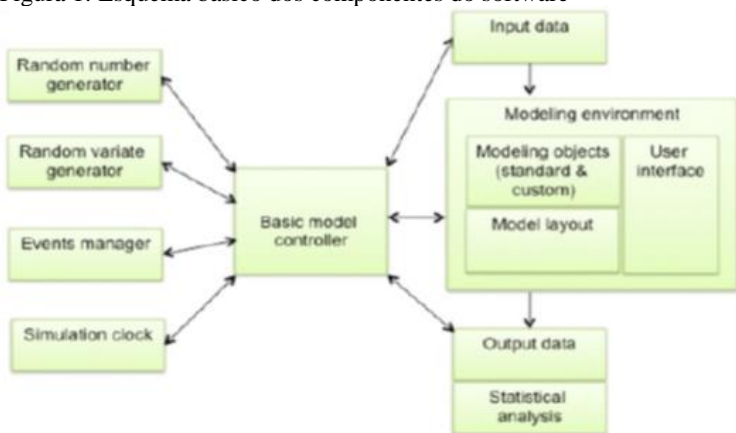
compatível com planilhas	10	8	8	6	8	8	8	8	8	8	8	5	6	6	6	8	8	5
Manutenção banco de dados	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Categoria Suporte</b>																		
Facilidade de uso	10	6	8	8	6	8	6	2	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Facilidade de aprendizagem	9	6,3	6,3	5,4	2,7	3,6	3,6	5,4	6,3	6,3	5,4	6,3	4,5	6,3	4,5	6,3	5,4	4,5
Qualidade da documentação	7	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	1,4	3,5	3,5	3,5	3,5
Capacidade de animação	8	6,4	4,8	8	6,4	2,4	7,2	8	0	0	8	5,6	4	7,2	0	4	8	4
Suporte para treinamento	8	8	8	8	8	8	8	4	8	8	8	6,4	8	2,4	8	6,4	8	6,4
<b>Categoria Custo</b>																		
Aquisição da licença ( valor)	10	7	3	5	3	5	2	1	1	8	7	3	8	5	1	0	3	3
Requisitos de hardware	8	4	4	4	1,6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Aprendizagem software	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Tempo construção modelos	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>Total</b>	<b>112</b>	<b>111</b>	<b>111</b>	<b>111</b>	<b>105</b>	<b>98</b>	<b>97</b>	<b>97</b>	<b>96,6</b>	<b>96</b>	<b>95</b>	<b>95,1</b>	<b>95</b>	<b>95</b>	<b>93,2</b>	<b>92,3</b>	<b>87</b>	<b>87</b>

Fonte: Do autor (2015).

## 2.4.2 O software Flex Sim® e suas principais características

O Flex Sim®, como um software de simulação profissional, fornece suporte extensivo para construir e analisar modelos de simulação. A Figura 1 (FLEX SIM, 2014) descreve os componentes básicos encontrados no software. Todos os softwares de simulação fornecem um conjunto de objetos de modelagem pré-definidos que facilitam a construção do modelo. Esses objetos incluem buffers que armazenam itens aguardando processamento (devido a atrasos não planejados), objetos de processamento que modificam ou criam atrasos planejados para itens conforme eles fluem através do modelo (operações de serviços), transporte de objetos que movem itens através do modelo, etc. O número e capacidade desses objetos variam amplamente em diferentes produtos de software de simulação, que se encontram no mercado hoje em dia. O software O Flex Sim®, tem uma boa interface de flexibilidade, que permite que os usuários alterem facilmente o comportamento dos objetos e usuários avançados podem criar seus próprios objetos.

Figura 1: Esquema básico dos componentes do software



Fonte: Flex Sim® (2014).

A interface do Flex Sim® é bastante eficaz para todos os níveis de usuários, no entanto, muitos de seus recursos residem no fato de ser um software aberto e com capacidade para modificar os objetos e seu comportamento para melhor atender às exigências de modelagem. Um software de simulação com aplicações graficamente orientadas faz uso de elementos que estão colocados na superfície de simulação e podem ser



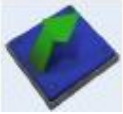
vistos. No Flex Sim®, um objeto é o elemento de construção mais básico de uma simulação e existem dois tipos básicos de objetos (entidades): discretas e de fluido (contínuo). Os objetos discretos são usados para desenvolver modelos de simulação a eventos discretos, onde o modelo de comportamento resulta de acontecimentos que ocorrem em pontos discretos no tempo, como um item chegando ao sistema ou uma máquina parada devido a uma falha interna. Fluidos objetos ou contínuos são usados para descrever o comportamento do modelo que resulta de alterações que ocorrem continuamente ao longo do tempo, tais como o enchimento de um tanque com um líquido.

As simulações normalmente envolvem entidades discretas reais que se movem fisicamente em torno do ambiente simulado. No Flex Sim®, essas entidades são chamadas flowitems. Dependendo da simulação, estes podem ser caixas, produtos, clientes, documentos, e assim por diante. Sem flowitems, não existe uma necessidade para a simulação. Alguns pacotes de software de simulação referem-se a flowitems como entidades ou transações.

No Flex Sim®, flowitems estão listados em “flowitem bin” que é acessado através do menu ferramentas na parte superior da tela. Normalmente, flowitems são levados a uma simulação por meio do objeto de origem, onde a escolha de usar um flowitem 3D está listado em um menu drop-down. As simulações também precisam de objetos que interagem com flowitems. Estes podem executar uma operação, criam um atraso, ou mover os itens. Existem duas categorias gerais de tais objetos distintos: recursos fixos e executores de tarefas (recursos móveis). Um modelo de simulação é simplesmente uma coleção destes objetos colocados juntos de modo a simular o comportamento de um sistema.

Outro ponto importante são os recursos fixos, que são os objetos que enviam, recebem e realizam atividades / operações dos flowitems. Eles também são os tipos de objetos mais comuns. Eles são referidos como "fixos", porque eles são em grande parte estacionários. Uma vez que eles são colocados na superfície do modelo, eles tendem a ficar naquele lugar, a menos que manipulado mais tarde pelo modelador.

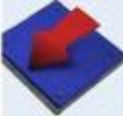
Exemplos deste tipo de objeto incluem os seguintes:



Source

- cria e libera flowitens;

Modos de chegada: o tempo entre chegadas, horários e sequência de chegada;



Sink

- recebe e remove flowitens da simulação;



Queue

- armazena flowitens quando os objetos a jusante não podem aceita-los;
- pode receber várias flowitens de cada vez e processa-los em lote;
- recebe flowitens até a sua capacidade máxima específica for atingida;



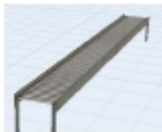
Processor

- processa ou força o atraso de um flowitem;
- pode chamar os operadores para as operações de setup ou processamento;
- pode incorrer em paradas programadas ou não programadas;
- manipula um flowitem de cada vez ou vários flowitens de forma independente.



Multiprocessor

- realiza um conjunto de operações ou processos em sequência;
- operações / processos podem ter tempos separados e chamar recursos separadamente;
- manipula um flowitem por vez.



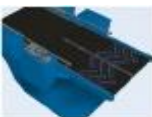
Conveyor

- movimentam flowitens por mais de um caminho fixo (não necessariamente linear) em uma determinada velocidade;
- flowitens entram e saem de um conveyor de cada vez;
- modos: acumulados, não acumulados;
- capacidade limitada pelo número de flowitens ou espaço disponível no conveyor;
- o espaçamento entre flowitens podem ser especificados.



Combiner

- agrupa vários flowitens;

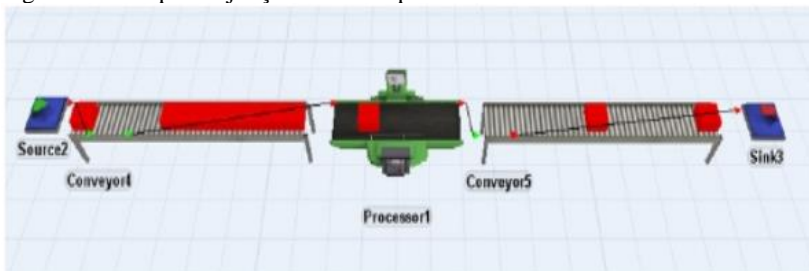


Separator

- aceita uma entrada de cada vez.
- pode ter tempos de processo, uso de recursos, e incorre em paradas programadas ou não programadas;
- modos: desembala ou divide um recipiente/tem embalado mesmo estando cheio e faz cópias de um flowitem.

A junção destes itens vai formando a lógica do modelo, conforme figura 2.

Figura 2: Exemplo de junção dos itens para formar o modelo



Fonte: Flex Sim® (2014).

Outras funcionalidades do software que devem ser destacadas:

- ✓ Possui uma ferramenta para simulação de cenários, chamado Experimenter (já incluso no sistema), assim como o OptQuest® que permite a otimização de variáveis que necessitam ser analisadas;
- ✓ É possível construir seus modelos simplesmente arrastando e soltando, com controles intuitivos. Manual de ajuda abrangente, disponível em português e outras combinações para tornar a simulação mais fácil;
- ✓ Existe a opção de importar formatos próprios e layouts de CAD, Google Sketchup e outros aplicativos de engenharia, sendo possível criar objetos;
- ✓ Bibliotecas de equipamentos, recursos ou instâncias, podendo customizar seu painel de controle;
- ✓ Aplicativo de análise que permite descobrir as causas dos gargalos e dos acúmulos, sendo possível criar tabelas e gráficos em 3D diretamente no modelo em construção.
- ✓ Baixa necessidade de conhecimento de programação, o que torna mais rápido a construção do modelo e respectivas validações;
- ✓ Suporte técnico robusto, com muitas demonstrações de exemplos e passos de construção no site do fornecedor.

O software demonstrou uma funcionalidade aderente a necessidade do escopo do projeto com todo recurso necessário para se construir um modelo confiável e que atenda as necessidades específicas do projeto .

## 2.5 MÉTODO BALANCEAMENTO DE OPERADORES

O desenvolvimento deste projeto de pesquisa está muito relacionado ao balanceamento da linha de produção no que diz respeito principalmente aos recursos de mão de obra, levando em consideração também o acúmulo de estoque, pois o segmento se refere a abate de animais, que envolve produto perecível, demanda um fluxo contínuo, em função do alto custo de armazenagem, relacionado a cadeia de frio. Desta forma é importante citar a abordagem do Lean Manufacturing e a ferramenta GBO (gráfico de balanceamento de operadores), que é uma importante referência para o desenvolvimento deste trabalho.

## 2.5.1 A origem do Lean Manufacturing ou Manufatura Enxuta

Esta parte de abordagem do conceito do *Lean Manufacturing* (ou Manufatura enxuta como é conhecido no Brasil) foi inserido na fundamentação teórica, pois muitos dos princípios de melhoria que são usados para fazer a otimização do processo que será estudado neste projeto de pesquisa, têm origem nos conceitos da filosofia Lean, como por exemplo, o balanceamento de etapas do processo, otimização de postos operativos e de *lay-out* e redução de tarefas que não agregam valor. O Lean Manufacturing foi amplamente percebido pela indústria como uma resposta a necessidade de focar as demandas dos clientes sem requisitos adicionais de recursos, o que agregaria mais custo ao cliente, sem garantia que ele pague mais por isso (BHAMU *et al*, 2014).

O termo Lean está diretamente ligado ao TPS (Toyota Production System) o TPS é uma filosofia de administração da manufatura, surgida no Japão, em meados da década de 60, tendo a sua ideia básica e seu desenvolvimento creditados à Toyota Motor Company. O idealista desse sistema foi o vice-presidente da empresa Taiichi Ohno (OHNO, 1997). Os conceitos da filosofia Lean foram extraídos da experiência mundial em manufatura e combinados dentro de uma visão holística do empreendimento. Os principais conceitos são independentes da tecnologia, embora possam ser aplicados em conjunto com os avanços tecnológicos. Este novo enfoque na administração da manufatura surgiu de uma visão estratégica, buscando vantagem competitiva através da otimização do processo produtivo. Pode-se afirmar que o TPS não é um kit de ferramentas, é um sistema sofisticado de produção em que as partes contribuem para o todo (LIKER, 2004). Essa visão do todo, tem o objetivo de apoiar e estimular as pessoas para que continuamente melhorem os processos em que trabalham. O termo Lean foi popularizado no livro "A Máquina que Mudou o Mundo" (WOMACK, JONES, ROSS, 1992), que claramente ilustrou a diferença de desempenho significativa entre as indústrias automotivas japonesas e ocidentais. Neste livro foram descritos os principais elementos responsáveis por este desempenho superior como Produção Enxuta, porque os métodos de negócio japoneses usavam menos de tudo: esforço humano, investimento de capital, instalações, estoques e tempo, na fabricação, desenvolvimento de produtos, fornecimento de peças e relações com os clientes. Em meados dos anos 90 os princípios Lean saíram do chão de fábrica e começaram a ser utilizados por empresas ao redor do mundo para gerenciar diferentes

áreas das organizações, e se tornaram uma ferramenta efetiva para os gerentes de projeto a fim de agilizar os ciclos das atividades, controlando os recursos, reduzindo os desperdícios e aumentando a eficiência. Em "Lean Thinking" (WOMACK, JONES, 1996), os autores criaram cinco princípios que foram apresentados como uma estrutura a ser utilizada por uma organização para implementar o pensamento enxuto, aumentando a possibilidade de aplicação dos conceitos apresentados anteriormente. Esses 5 princípios funcionam como uma estratégia base para se implantar o conceito de Manufatura Enxuta. A premissa inicial é reconhecer que apenas uma pequena fração do tempo total e esforço dispensado para produzir um produto ou prestar um serviço realmente agregam valor para o cliente. Portanto, é fundamental definir claramente o valor de um produto ou serviço específico da perspectiva do cliente, de forma que todas as atividades sem valor possam ser eliminadas.

### **2.5.2 Os princípios básicos do Lean Manufacturing e sua aplicação**

O Lean Manufacturing ou Manufatura enxuta é uma filosofia de negócio onde o grande objetivo é eliminar todas as formas de desperdício nos processos produtivos. Neste caso são consideradas formas de desperdício (EHRlich, 2002):

- ✓ Superprodução: Produzir acima do necessário ou produzir em determinada parte da cadeia produtiva mais rápido que a etapa seguinte;
- ✓ Tempo de espera: Caso algum recurso ou local precise aguardar para produzir, pois a etapa posterior do processo não está disponível para receber seus produtos;
- ✓ Transporte: Movimentação de transporte de recursos ou produtos desnecessários;
- ✓ Reprocesso: Desperdícios causados por ineficiências, falhas de desenho de processo, atividades duplicadas, inspeções e atividades não adicionadoras de valor;
- ✓ Estoque excessivo: Quantidade de produtos em processamento elevada;
- ✓ Movimento: Movimento desnecessário de pessoas;

A utilização dos conceitos Lean na produção tem sido uma prática muito difundida nas últimas duas décadas. Cada vez mais, as empresas estão usando a estratégia base do Lean na visão de redução de

desperdícios para aumentar sua competitividade no mercado, exigindo mais eficiência das organizações em entregarem bons resultados. O grande foco é a necessidade de otimizar o uso dos recursos disponíveis nas empresas de modo a conseguir melhores resultados sem grandes investimentos através da eliminação de desperdícios. É importante ter uma proposição de gerenciamento de recursos, visualizando-se não somente a eliminação de desperdícios, mas também a cultura de gerenciamento Lean que traz como resultado uma importante ferramenta de auxílio às empresas neste novo cenário de exigências competitivas. Introdução. Dentro da nova realidade competitiva mundial, uma empresa que queira prosperar ou mesmo sobreviver, deve procurar ter um conhecimento atualizado das forças competitivas que a dirigem e, como consequência, elaborar uma estratégia que necessariamente tenha foco na redução de custos e melhoria de seus processos, reduzindo desperdícios, que não serão valorizados pelo cliente final (SINGH et al, 2010).

O Lean é uma das mais abrangentes e bem articuladas metodologias, quando se foca a melhoria de desempenho de processos e sistemas de produção. Essa abordagem é norteadada pelos seguintes princípios (ROTONDARO, 2002):

- ✓ Produção Puxada: Caracteriza o sistema de produção enxuto. Trata-se da formatação do processo onde os centros de produção puxariam a produção dos centros precedentes na sequência do roteiro do processo;
- ✓ Produção Flexível: Flexibilização dos sistemas de produção de modo a tornar competitiva a produção de uma maior variedade de itens, em diferentes quantidades e com agilidade;
- ✓ Produção Previsível: O modelo Lean requer iniciativas para se reduzir a variabilidade dos processos em geral, por meio do aprimoramento das capacidades de assegurar a conformidade dos produtos, disponibilidade dos equipamentos e recursos e controle de fatores que impactam o desempenho do sistema de produção;
- ✓ Produção Nivelada: Este princípio incentiva a busca de medidas que possibilitem alocar da maneira mais uniforme possível a carga de produção no tempo, ainda que no mercado a demanda de produtos seja oscilante por natureza;
- ✓ Produção em fluxo contínuo: O modelo Lean prega que o fluxo de produção seja o mais contínuo possível, de tal

modo que as tarefas e movimentações sejam realizadas com o mínimo de interrupções.

Na verdade, o Lean reúne conceitos e práticas provenientes de três modelos de gestão em manufatura: JIT (Just-in-time) TPM (Total Productive Maintenance ou Manutenção Produtiva Total) e TQM (Total Quality Management ou Gestão da Qualidade Total) (SHAH; WARD, 2003).

### **2.5.3 O conceito de balanceamento de processos e GBO**

Um dos maiores custos em qualquer operação industrial atualmente é o custo com a mão de obra empregada no processo.

Nas etapas de fabricação do produto, cada posto ou estação de trabalho gasta determinado tempo para executar a tarefa que lhe cabe. Se o tempo que cada uma das estações gasta para fazer um produto é o mesmo, o balanceamento não tem problema. Ele já acontece e produzir mais ou menos depende somente da cadência ou velocidade imposta ao sistema. Se os tempos são diferentes, estudo adicional se faz necessário.

Uma etapa crucial para determinar o balanceamento é a análise do tempo das atividades dos operadores. Com esta análise é possível determinar a variação das atividades dos operadores que gera por consequência uma variação no fluxo de produção. Ao analisar os elementos de trabalho, é possível obter o tempo de ciclo de cada processo dentro da montagem. Neste ponto é importante destacar o conceito de tempo de ciclo: É o tempo do início de uma operação até a operação estar completada, ou seja, é o tempo de processamento de um produto. O tempo de produção efetivo por turno é igual ao tempo do início ao final do turno desconsiderando as pausas programadas como pausa para ginástica laboral e almoço. O tempo de ciclo da operação mais lenta é igual à taxa de peças que é produzida pela linha, ou seja, a operação com maior tempo de ciclo da linha afeta diretamente a produtividade. Para realizar o balanceamento da linha é necessário conhecer o takt time da linha. O takt time é o ritmo da demanda, ou seja, é a taxa com a qual a empresa precisa produzir um produto para atender a demanda do cliente. O takt time é calculado como:

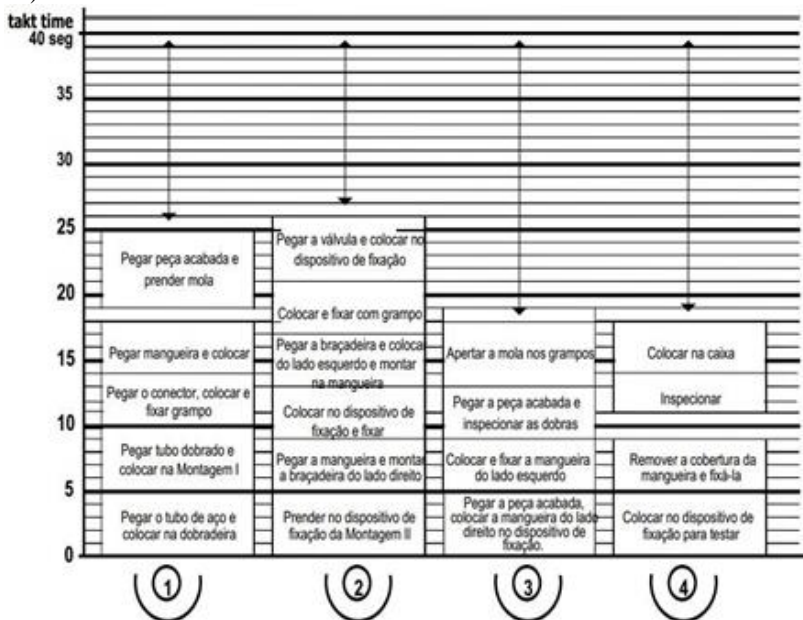
*Takt time* = [tempo de produção efetivo por turno / demanda do cliente por turno]



É muito importante relacionar o tempo de ciclo e o takt time. Para Rother e Harris (2002), se o tempo de ciclo for muito menor que o takt time, aumentam-se as chances de ocorrer excesso de produção, pois a linha está balanceada para produzir mais itens que o necessário para atender a demanda. A partir do momento que todos os tempos são conhecidos, o próximo passo é analisar as atividades que interrompem o fluxo e são classificadas como desperdício.

Uma das grandes estratégias de racionalização do processo é a otimização dos postos operativos, avaliando-se a distribuição de tarefas em cada posto operativo. O objetivo do balanceamento é atingir a homogeneidade de carga de trabalho entre os operadores, para que o tempo de ciclo em cada posto de trabalho não ultrapasse o takt-time de produção. Este trabalho é feito em primeira etapa, fazendo-se uma completa cronoanálise das tarefas e depois fazendo um comparativo deste tempo por tarefa com o ciclo de produção necessário a linha para entregar o volume planejado e solicitado pelo cliente. Para se avaliar esta oportunidade de otimização, utiliza-se o que se chama de gráfico de balanceamento de operadores, ou simplesmente GBO. Segundo Rother e Harris (2002), o GBO é um gráfico ou quadro onde se coloca o tempo gasto pelo operador para executar sua tarefa e se compara com o ciclo de tempo necessário para se entregar o volume planejado, sem gerar estoques. Chama-se este tempo de “tempo takt”. Essa ferramenta possibilita avaliar onde estão as potenciais ociosidades entre postos de trabalho e planejar o fluxo contínuo da linha. Sua utilização possibilita a eliminação dos desperdícios de espera, superprodução e movimentação. Conforme a Figura 3, cada linha horizontal no gráfico equivale a um segundo e cada coluna vertical equivale a um operador. As atividades de cada operador são colocadas em sequência ascendente, empilhadas umas sobre as outras de forma que cada elemento ocupa o número de linhas que equivalem ao tempo desse elemento. Nesse gráfico não são incluídos os tempos de máquina, pois o foco é nos tempos de atividade de cada operador para posteriormente propor um melhor balanceamento da mão-de-obra

Figura 3: Gráfico de balanceamento de operador Fonte: Rother e Harris (2002, p. 32)



Fonte: Rother e Harris (2002, p. 32).

Nesse tipo de gráfico visualizamos como os operadores estão divididos dentro de sua célula de produção. A intenção é balancear a carga dos operadores, utilizando seu tempo ocioso em relação ao tempo takt, para fazer outras operações.

O objetivo de se balancear a carga dos operadores é evitar que se acumule estoque após operações mais rápidas, maximizando a ocupação do operador e da peça. Esse balanceamento garante o fluxo contínuo de peças e nos permite produzir apenas se a próxima estação precisa do material, a produção puxada. O tempo takt nos passa a visão do ritmo em que o cliente está demandando o produto. Se produzirmos mais lento que o tempo takt não atenderemos a demanda, se produzirmos mais rápido teremos super-produção e estoques de produto acabado.

Mas para o operador não trabalhar no limite do tempo takt todo o tempo, estipula-se o conceito de tempo de ciclo planejado, que sempre será um valor limite que aquele posto será otimizado, e que sempre será abaixo do 100% do takt time (em geral define-se entre 80 e 90% do tempo takt). O tempo de ciclo planejado é calculado para definir qual o ritmo que sua

célula deve produzir. Nesse tempo de ciclo são consideradas as perdas do seu processo.

O GBO pode ser usado como uma ferramenta de melhoria para otimizar os recursos de mão de obra, colocando-se foco nos seguintes elementos:

- ✓ Decompor as atividades das tarefas principais e avaliar se algumas podem ser transferidas para operadores próximos, que têm tempo ocioso em sua atividade atual. Toda essa análise de ociosidade deve ser feita em relação ao tempo takt atualizado do processo.

Além de transferir, deve-se avaliar as atividades de todas as operações para buscar eliminação das que não agregam valor ao produto final para se reduzir o tempo total da tarefa, sobrando mais tempo para as demais atividades que agregam valor.

- ✓ Desenvolver dispositivos e modificações no design do produto para reduzir tempos.

É importante entender que o GBO não é apenas um gráfico para mostrar aos outros como os operadores estão distribuídos na célula. Ele é uma ferramenta para se estabelecer quais são as melhorias necessárias para um melhor desempenho. Usando o gráfico GBO, ao realizar o balanceamento, com base em dados estocásticos, é possível utilizar softwares de modelagem e simulação computacional, os quais possibilitam a visão sistêmica do sistema produtivo e são capazes de demonstrar o comportamento da célula de manufatura por meio de recursos de animação e de análises estatísticas.



### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Neste capítulo o objetivo é descrever os procedimentos metodológicos para desenvolver o projeto de pesquisa. O trabalho é conduzido por uma pesquisa do tipo aplicada, no qual tem como objetivo gerar conhecimento para aplicação prática, com foco direcionado na solução de um problema do mundo real.

#### **3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO**

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a pesquisa é classificada como pesquisa-ação, pois é realizada em associação com a resolução de um problema, no qual o pesquisador interfere no objeto de estudo de forma cooperativa com os participantes da ação, buscando resolver um problema (TURRIONI; MELLO, 2010). O método de pesquisa-ação visa coletar informações acerca do problema, alimentar a pesquisa com os conhecimentos teóricos precedentes a prática e descrever os processos e as generalizações da investigação, de modo a gerar resultados para o problema pertinentes à pesquisa (THIOLLENT, 2005).

Para o desenvolvimento da pesquisa-ação é utilizado um processo cíclico apresentado no quadro 1 composto de cinco passos; planejamento da pesquisa, coleta de dados, análise dos dados, tomada de ação e avaliação da ação.

Após a definição do processo conceitual, foi realizada a descrição da linha de montagem a ser analisada. Na sequência foi descrito o método utilizado para a coleta de dados e para a análise dos dados. Os dados coletados possibilitam o conhecimento do tempo de cada atividade e a visualização das atividades que agregam e que não agregam valor ao produto. A partir das análises da situação atual da linha é possível definir o novo modelo de balanceamento de linha para alcançar os objetivos propostos.

Quadro 1: Etapas para a elaboração da pesquisa ação

<b>ETAPAS</b>	<b>ESCOPO</b>
Planejamento da pesquisa	Definir problema a ser estudado na pesquisa
	Definir estrutura conceitual
	Definir técnicas utilizadas para realizar a coleta de dados
Coleta de dados	Registro de dados e análises para o desenvolvimento da pesquisa
Análise dos dados	Análise e validação dos dados coletados
	Associação dos dados obtidos com a teoria
Tomada de ação	Definição de planos de ação para alcançar os objetivos estipulados
Avaliação das ações	Avaliação dos resultados das ações executadas
	Revisão das ações e correção necessária

Fonte: THIOLENT (2005) – Adaptado pelo autor

### 3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

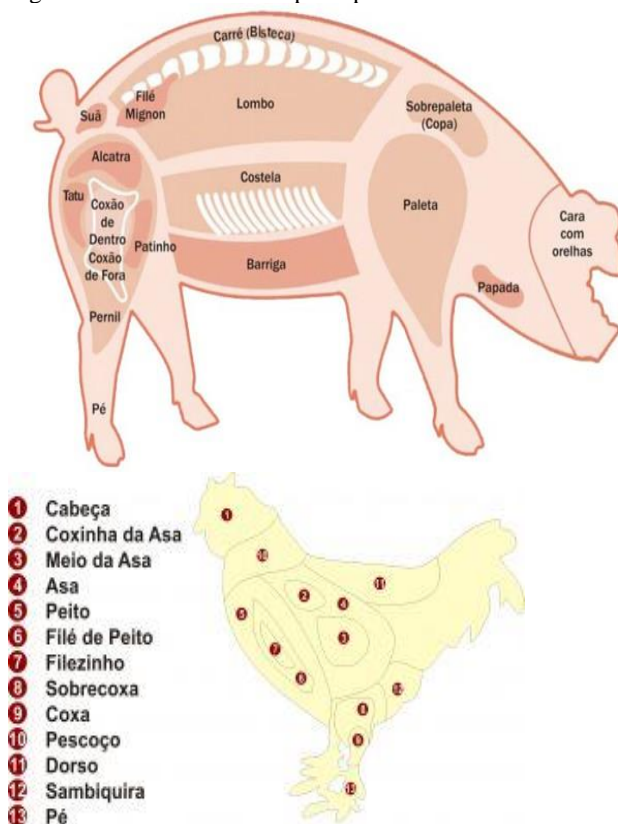
Nesta etapa deu-se início a coleta de dados para montagem do modelo inicial, estado atual, da planta em estudo (THIOLENT, 2005), onde será utilizada toda a base de conhecimento estudada nas fases anteriores, inclusive o uso do software definido para ser usado na montagem do modelo. Esta fase deve ser desenvolvida por um grupo com conhecimento tácito do processo e cronoanalistas com sólido conhecimento de tempos e métodos, o que é fundamental para o andamento do trabalho, garantido uma confiabilidade significativa na base inicial dos dados.

#### 3.2.1 Desafios do processo em questão

O processo de abate de animais tem algumas características peculiares que devem ser levadas em consideração, quando se pensar na questão de modelagem /otimização deste processo. Este é uma linha de

desmontagem: Ao contrário de um processo convencional de manufatura, que agregamos vários insumos para montar um produto final, neste caso específico, o processo começa com o animal vivo, que será dividido em partes diversas (FIGURA 4), gerando diferenciados produtos de diferentes custos e valorizações, onde a premissa básica de rendimento é se aproveitar o máximo possível, comparado ao peso inicial do animal vivo, na plataforma de abate.

Figura 4: Os animais e seus principais cortes industriais



Fonte: Do autor (2015).

As operações de desmontagem têm características únicas e não podem ser consideradas exatamente o inverso das operações de montagem. A qualidade e a quantidade de componentes utilizados nas estações de uma linha de montagem podem ser controladas impondo

condições estritas. No entanto, não há condições tais de produtos sendo desmontados que se deslocam em uma linha de desmontagem (KALAYCI, GUPTA, 2013).

Por ser tratar de um animal vivo, há uma grande variabilidade inerente a raça, tamanho, peso (CALLEL, 2016), que vai influenciar diretamente no rendimento e produtividade final do processo, inserindo desta forma maior risco inerente de variação na modelagem a ser feita. O processo em geral é muito manual, com muitas etapas executadas individualmente por operadores e muitos deles, executando a mesma tarefa ao mesmo tempo. Por definição nos trabalhos de redução de variabilidade, consideramos o fator humano como uma variável não controlável totalmente, ou seja, classificamos como ruído, pois por mais que o colaborador esteja treinado ou tenha experiência na tarefa, ele pode falhar imprevisivelmente. O processo de abate de animais é constantemente fiscalizado pelo Ministério do Trabalho e pelo SIF (Serviço de Inspeção Federal) que é ligado ao Ministério da Agricultura. Qualquer desvio fora da norma pode acarretar em interrupção do processo produtivo. Recentemente foi instituído as chamadas pausas obrigatórias, que prevê por lei um intervalo que o colaborador deve fazer, a fim de prevenir risco de lesão por esforço repetitivo devido à natureza da tarefa que executa e principalmente pela exposição contínua ao ambiente frio, onde o local de trabalho tem uma temperatura média e constante de 10 a 12 C. Isto é mais uma variável inserida no processo, que faz um *input* no processo de novos *setups* e novo processo de estabilização do fluxo produtivo em períodos cíclicos de menos de duas horas. Este fato certamente torna a modelagem mais complexa, por ter a variável humana envolvida e constantes paradas do processo. Em específico, a norma NR36 (portaria MTE n. ° 555, de 18 de abril de 2013) tem o objetivo de estabelecer os requisitos mínimos para a avaliação, controle e monitoramento dos riscos existentes nas atividades desenvolvidas na indústria de abate e processamento de carnes e derivados destinados ao consumo humano, de forma a garantir permanentemente a segurança, a saúde e a qualidade de vida no trabalho. A tabela 6 abaixo mostra os tempos de pausa exigido, de acordo com o número de horas da jornada diária de trabalho para o caso típico de um abate que opera com regime de 2 turnos diários de segunda a sexta, que é a situação mais comum no Brasil.



Tabela 6: Tempos de pausa

<b>Jornada de trabalho</b>	<b>Tempo de tolerância para aplicação da pausa</b>	<b>Tempo de pausa</b>
Até 6h	Até 6h20	20 minutos
Até 7h20	Até 7h40	40 minutos
Até 8h48	Até 9h10	60 minutos

Fonte: Do autor (2015).

Todas essas características citadas interagem entre si gerando cenários diversos e com grande grau de variabilidade, tornando-se impossível prever analiticamente algumas de suas saídas, fortalecendo a necessidade de se buscar o recurso de modelagem para simular cenários otimizados para este tipo de processo.

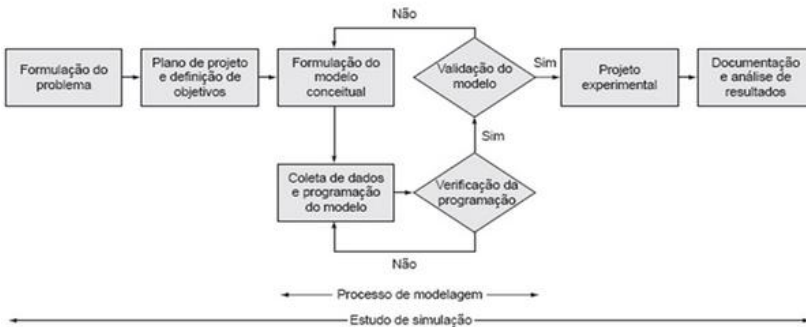
### **3.2.2 Etapas para construção do modelo atual**

Numa descrição inicial, a simulação de um sistema envolve as etapas a seguir descritas, adaptadas (BANKS et al., 2005):

- Formulação do problema;
- Formulação dos objetivos;
- Coleta de dados;
- Modelagem e codificação;
- Verificação e validação do modelo;
- Experimentação e análise;
- Documentação e recomendações.

No projeto de pesquisa em questão será seguido esta sequência, com algumas adaptações necessárias em função do escopo do trabalho. Estas etapas são descritas neste capítulo a seguir. Na figura 5 está desenhada a sequência de etapas dos passos da modelagem.

Figura 5: Processo de modelagem num estudo de simulação



Fonte: adaptada de Shannon (1975), Winston (1993), Banks et al (1996) e Sakurada and Miyake (2009)

### ➤ Formulação do problema

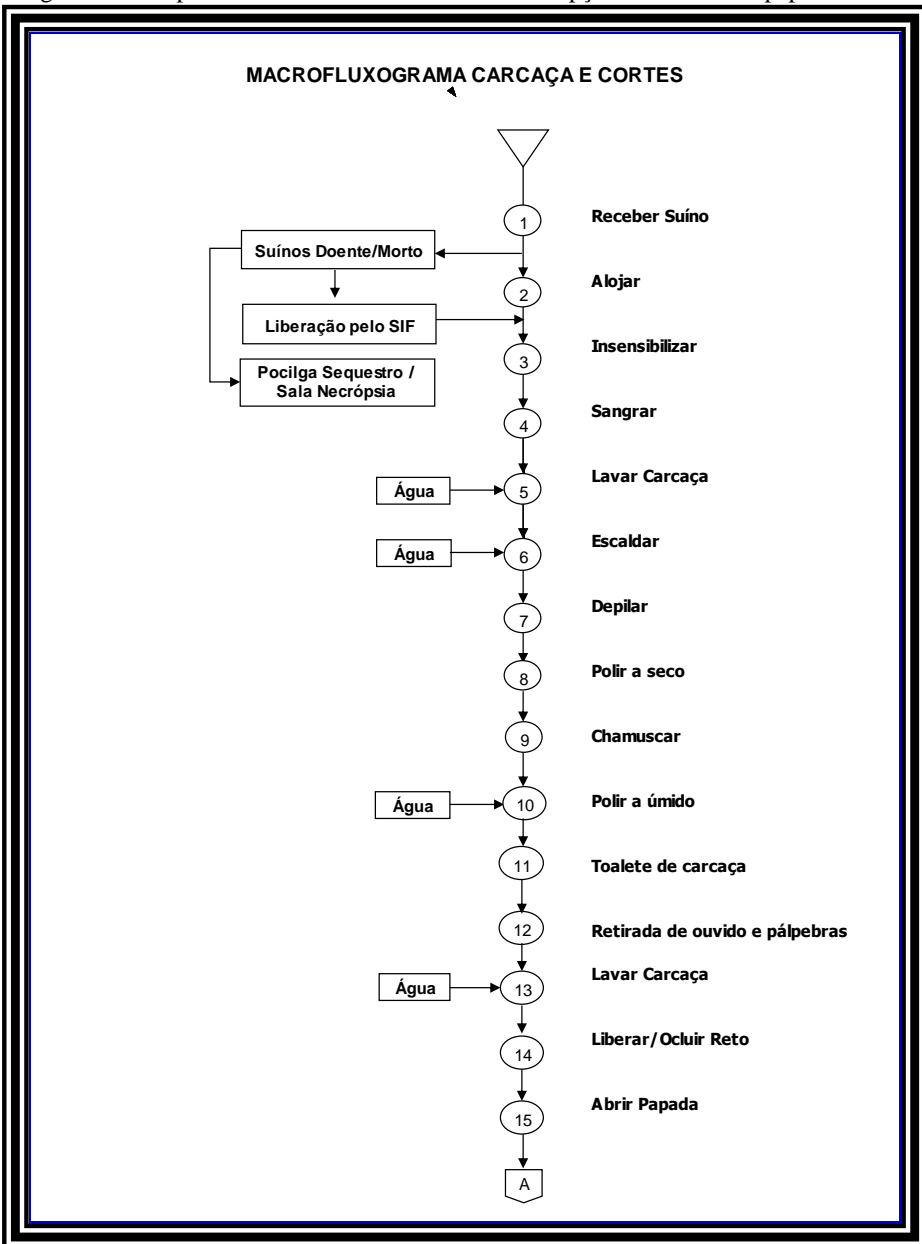
O enunciado do problema que deve ser facilmente entendido por todos os envolvidos, que durante o curso do projeto pode ser reformulado. No caso deste projeto de pesquisa, a formulação do problema basicamente seria: Como fazer a otimização dos recursos envolvidos no processo produtivo em planta de abate de animais, equacionando os principais fatores:

- ✓ Ociosidades nos postos operativos nas linhas de abate e corte;
- ✓ Balanceamento entre etapas;
- ✓ Exigências da legislação, como as pausas obrigatórias exigidos pela norma NR36, que é uma característica inerente a este tipo de processo, se instalado no Brasil.

A formulação do modelo, parte em geral da observação direta dos sistemas objetos de estudo visando a caracterizar a dinâmica de suas operações e a organização de seus recursos. Para o processo em estudo nesta pesquisa, o abate de animais, o que se idealiza é a otimização dos recursos e conseqüente aumento da produtividade de todo o fluxo do processo, desde o recebimento de animais, até a expedição dos produtos, o que chamamos de fluxo porta a porta. Nesta fase de formulação do problema, o desdobramento da complexidade do fluxo do processo a ser modelado é de grande importância. Por exemplo, roteamentos simples resultam de fluxos bem definidos e de pouca variação de mix, e por outro lado, quando há uma variedade maior de atividades dentro do posto de trabalho (exemplo, condenação de carcaças que neste caso deve seguir outro fluxo), de acordo com alguma lógica, regra, atributo ou

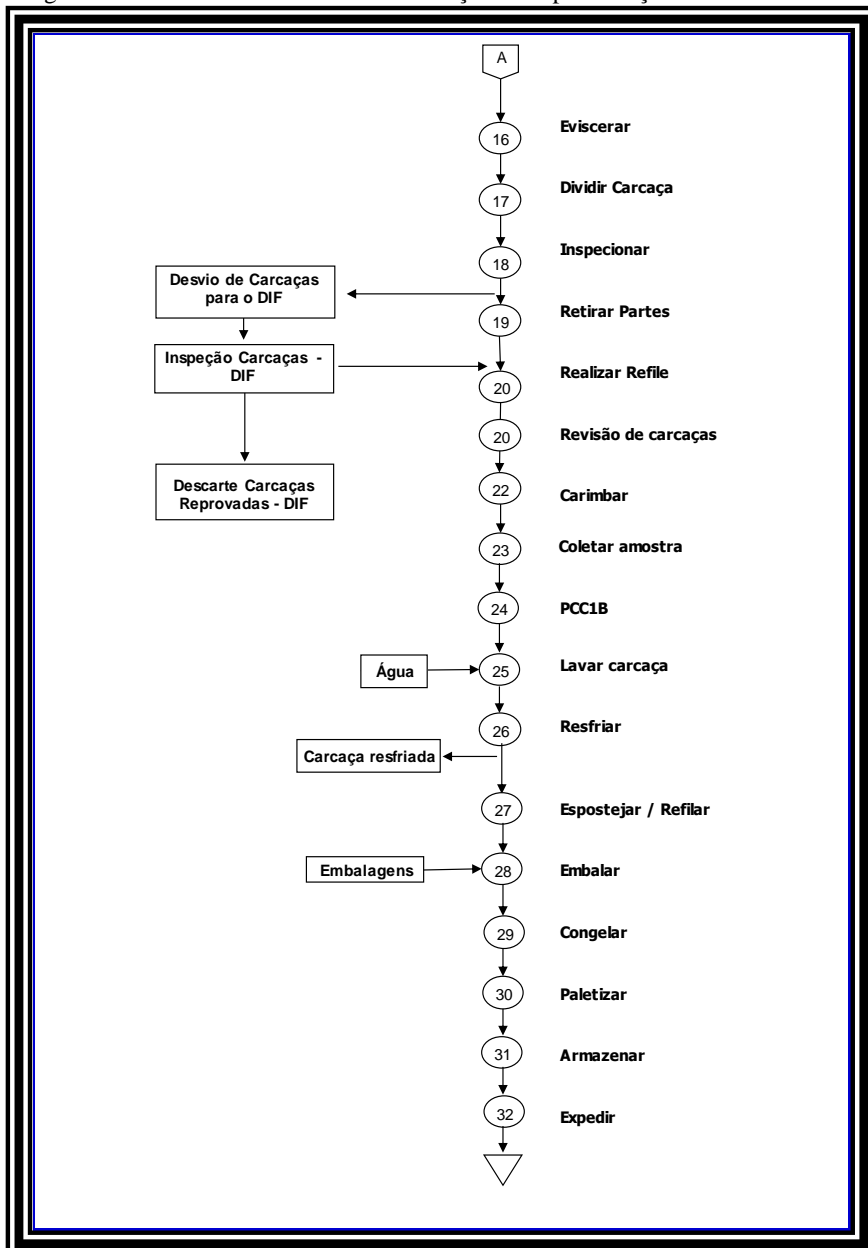
probabilidade, múltiplos roteamentos devem ser previstos, aumentando a complexidade do fluxo. Na fase de programação, ambos os simuladores oferecem possibilidades de modelagem do roteamento para lidar com esta complexidade. No processo de modelagem, quanto maior a influência do cliente do processo anterior, maior a complexidade do modelo e da sua construção dada a necessidade de programar entidades, que utilizam múltiplos recursos/estações de trabalho e escolhem seus caminhos com base nos atributos, probabilidades ou regras. Nas Figuras 6 e 7 são mostrados os fluxos de abate e cortes de uma planta de suínos utilizada para o estudo de aplicação para este projeto de pesquisa. O processo é complexo, envolvendo dezenas de etapas, entre o recebimento do animal vivo e a embalagem final, sendo que algumas etapas ocorrem de forma sequencial, como no caso do abate do animal, onde a velocidade do processo é determinado pela velocidade da norea, onde está pendurada a carcaça do animal e se o operador não executar a atividade de seu posto operativo no tempo em que a carcaça está passando a sua frente, esta vai para a etapa seguinte sem ter toda a atividade efetuada, gerando não conformidade e podendo ser a carcaça condenada pelo inspetor de qualidade, gerando grande perda ao processo. Todo esse conhecimento prévio da dimensão e macro etapas do processo são importantes para a formulação do problema.

Figura 6: Exemplo Macro fluxo abate suínos – da recepção até a abertura papada



Fonte: Do autor (2015).

Figura 7: Macro fluxo suínos – da evisceração até a palletização



Fonte: Do autor (2015).

➤ Definição dos objetivos e plano geral do projeto:

Nesta fase, ocorre a definição de quais questões a simulação deverá responder, os custos envolvidos no processo e o tempo necessário para executar o trabalho. Na visão de Filho (2008), este passo deve ser composto pela realização de um levantamento sobre os recursos e custos necessários à modelagem e simulação. Além disto, também foi necessário ser feito um cronograma detalhado das atividades desenvolvidas. Considerando o processo em questão neste projeto de pesquisa, o abate de animais, que envolve muitas tarefas manuais e pela decisão de que a abrangência seria porta a porta, ou seja, todo o processo produtivo, foi dimensionado desta forma um tempo considerável para coleta de dados, cronoanálise e organização do fluxo de informações. Este foi considerado um ponto de muita atenção para um bom planejamento da pesquisa, por ser um processo de desmontagem que tem grande variabilidade. Esses objetivos aqui definidos indicam as questões que devem ser respondidas pela simulação, que foi já abordado no capítulo 1. O objetivo geral do trabalho de pesquisa é: Desenvolver o estudo necessário no aprimoramento da determinação dos passos necessários para construção da modelagem e simulação e otimização para melhoria de produtividade de forma mais adequada para as especificidades do balanceamento de linhas de abates de animais.

Em relação a esse objetivo, pode-se destacar que devido ao tamanho da planta e complexidade do processo de abate e cortes, seria praticamente inviável executar estas atividades de otimização e dimensionamento das equipes com aceitável grau de precisão, sem a utilização do recurso de modelagem do software, que tem como grande diferencial fazer /desenhar as conexões entre as etapas do processo, avaliando as necessidades exatas de mão de obra e pontos de possível ociosidade e principalmente pontos de gargalo, que poderia provocar acúmulos de produto, causando atrasos e perda de capacidade de produção. Para se poder então ter uma modelagem de qualidade, é fundamental que a coleta de dados que realmente representem o que acontece no minuto a minuto na linha de produção. Um dos principais dados que se necessita para a construção do modelo são os tempos de cada atividade, nos postos de trabalhos em cada etapa do processo, que seria a etapa a seguir.

➤ Levantamento de dados para construção do modelo

É necessário medir e organizar os dados que representam as principais características do sistema, sendo que no caso do processo de

abate de animais, os principais dados são as tomadas de tempo de operação de todas as atividades dos postos operativos, além das características essenciais do processo, como velocidade da linha, capacidade atual de cada etapa, regimes de trabalho, pausas, intervalos programados e histórico de paradas não programadas. Para esta etapa de coleta de dados, é importante o papel do cronoanalista da planta em estudo, um profissional treinado nos conceitos clássicos e amplo conhecimento do processo em estudo. Uma completa revisão dos dados de cronoanálise se fez necessária, para inserir no programa estes dados de base para construção inicial do modelo. Para a medição dos dados, a fábrica foi dividida em duas grandes áreas: Abate e área de cortes. Cada tempo de operação foi coletado mais de 10 vezes, para se ter uma confiabilidade e uma visão de sua variabilidade. Na Tabela 7 são mostrados quais são dados necessários na coleta de dados, para construção inicial do modelo, para este tipo de processo em estudo, o abate e corte de animais.

Tabela 7: Dados necessários para construção do modelo inicial

INPUT	FINALIDADE
Planta em CAD de toda a fábrica	Construir modelo com base na planta real da fábrica, com as características de layout
Capacidades de todas as etapas	Estabelecer a velocidade do processo etapa a etapa e identificar as oportunidades de balanceamento entre etapas
Tempo disponível para as linhas funcionarem	Horário de funcionamento de cada etapa e turno, descontado pausas e refeições.
Tempos de paradas planejadas	Horários das paradas planejadas como pausas, refeição e outros
Quadro total de funcionários por área e turno	Número de funcionários detalhado por posto operativo
Tempo de execução de tarefa de cada colaborador	Cronoanálise de cada posto operativo por funcionário (mínimo de 10 medidas de tempo por funcionário)
Plano de produção da planta	Plano de produção detalhado por produto e mix característico

Fonte: Do autor (2015)

Fazendo uma avaliação e justificativa da necessidade de cada um desses inputs e sua importância para se montar o modelo inicial:

Planta de toda a fábrica: A planta em CAD de todas as etapas do processo, é de extrema importância para montar o modelo inicial, pois este será criado levando em consideração todas as características físicas reais da planta como distância entre postos operativos e equipamentos, desníveis, curvas e outros detalhes que podem impactar no fluxo e no tempo individual de execução de cada tarefa, sendo fundamental para a diagramação visual do modelo para que se tenha todas as características reais da planta.

Capacidade de todas as etapas: Esta informação é muito importante, pois é a partir desta, que o modelo terá em sua base, qual o limite máximo de produto que se pode processar em cada etapa, podendo simular possíveis gargalos ao longo das etapas do processo e acúmulos de produto caso houver paradas em etapas posteriores.

Tempos de paradas planejadas e tempo disponível das linhas: Entende-se como paradas planejadas, aquelas que já são previstas ao longo do turno de produção, como por exemplo, os tempos de refeição, pausas de descanso, devido a exposição ao frio e esforço repetitivo, e eventuais paradas para manutenção preventiva. O programa Flex Sim® necessita ter esta informação para ter determinado esses intervalos de tempo onde haverá interrupção cíclica da produção e desta forma simular e avaliar o impacto destas “ondas” no fluxo produtivo do processo. O tempo disponível das linhas, é o regime que os turnos operam, ou seja, quantas horas cada turno trabalha, onde a soma das horas de cada turno (onde neste caso são 2 turnos) resulta no total de horas trabalhadas diárias. O programa necessita desta informação para ter como referência quantas horas são o ciclo diário de produção.

Quadro total de funcionários por área e turno: Com esta informação o modelo vai preencher os postos operativos por área, respeitando o número de funcionários informado como quadro real. Na sequência quando o modelo fizer o balanceamento da linha, este quadro poderá ser indicado como insuficiente ou em excesso, já sendo um indicativo de onde será necessário fazer um balanceamento de operadores. Essa análise de excesso ou insuficiência de mão de obra em determinado ponto do processo, é determinado em função do número de carcaças que estão passando e do tempo de execução de tarefa em cada posto operativo.

Tempo de execução da tarefa de cada operador: Esta informação é uma das mais importantes, por trata-se do tempo individual de cada operador, na execução de sua tarefa. Este tempo foi medido por um



cronoanalista (pelo menos dez vezes) e cada informação desta é peça fundamental para o modelo ser montado, carregando as características individuais de variabilidade de cada operador, em sua respectiva tarefa. Plano de produção da planta: É o volume de produção planejado para a planta, contendo a quantidade diária abatida e o mix de produto na área de cortes. É importante o modelo ter esta informação, pois considerando o conceito de Reprogramação de Sistemas de Manufatura (RMS), a produção necessita ser simulada considerando as mudanças do mix e na demanda, para se ter uma reprodução o mais próximo da situação real (GARIBIE, 2014). Um processo de fabricação pode lidar com um pequeno número de componentes diferentes, mas eles podem ser muito diferentes um do outro (GERWIN, 2005), o que leva a diferentes ciclos de processamento nas tarefas, sendo desta forma o mix de produtos uma informação importante. A decisão para este trabalho foi medir os tempos de ciclo dos produtos historicamente com maior volume de fabricação.

➤ Modelagem e codificação:

Nesta etapa, foi construído o modelo inicial, para futura validação. Todos os dados coletados na etapa anterior e necessários para construir o modelo foram inseridos no programa. Na tabela 8 são apresentados alguns importantes elementos (apenas uma parte dos dados está demonstrado na tabela) que foram calculados, a partir dos dados iniciais inseridos (Tabela 7). São estes elementos que geram o desenho inicial do modelo, que etapa por etapa de todo o processo vai criando o fluxo da planta com sua velocidade característica do processo e taxa de ocupação de cada posto operativo. Deve-se ressaltar a importância da acurácia dos dados levantados da Tabela 7, pois estes são base para calcular os dados iniciais do para montagem do modelo.

É importante detalhar esses principais elementos calculados pelo O Flex Sim®, que são a base para montagem do modelo inicial:

Tempo padrão mínimo para uma peça: Tempo necessário em minutos de cada tarefa para o processamento de uma peça no fluxo do processo. Este tempo é calculado utilizando o tempo que foi cronometrado na coleta de dados e inserido no programa. Cada tempo padrão mínimo é utilizado para compor o movimento posto a posto do produto no modelo atual. Conforme o programa vai modelando cada posto, é utilizado este tempo padrão para determinar o ritmo daquele posto e assim o faz em todos os postos.

Tabela 8: Elementos gerados pelo modelo com dados de input

Tarefas	Tempo padrão/peça	Plano(peças/hora)	Peças/hora	Operadores/turno	média	frequência	ciclo	Distribuição estatística
Descargar caminhão	0,11	450	523	0,86	475,00	0,01	0,10	beta
Tatuar suíno	0,03	450	1881	0,24	8,25	0,20	0,03	exponential
Conduzir suíno até a entrada	0,05	450	1223	0,37	101,50	0,03	0,04	exponential
Conduzir até insensibilizador	0,23	450	265	1,70	410,01	0,03	0,20	erlang
Insensibilizar	0,09	450	660	0,68	60,00	0,09	0,09	60,0000
Colocar corrente no suíno	0,13	450	454	0,99	6,83	1,00	0,11	johnsonbounded
Pendurar suíno no area	0,05	450	1108	0,41	2,80	1,00	0,05	exponential

Fonte: Do Autor (2015)

Peças por minuto: Divide-se 1 minuto pelo tempo padrão para 1 peça, que está em minutos, o que resulta no número de peças que pode ser processada por minuto naquele posto. Este é um valor máximo possível, de acordo com o tempo padrão mínimo daquele posto. A quantidade real que está sendo processada, depende do plano de produção. Este valor de peças por minuto é como se fosse a capacidade de cada posto operativo. Pela tabela 8, observa-se que há diferença significativa deste número de peças por minuto, entre os postos, o que mostra um desbalanceamento entre os postos. Vale citar que o tempo padrão mínimo para cada peça tem relação com o grau de complexidade da tarefa e não exatamente da velocidade e habilidade do operador.

Número de peças por hora: É a quantidade de carcaças que passa pela linha por hora. Este é um número que vem do plano de produção, é o volume de carcaças que está planejado passar por hora. Caso houver alteração, pode-se mudar este volume na base de dados do programa.

Funcionários necessários por turno: Número de funcionários necessários para executar aquela tarefa. É obtido dividindo-se o número de peças por hora que passa naquele posto pelo número máximo de peças possíveis naquele posto para 1 funcionário em função do tempo padrão de 1 peça. Observa-se que em algumas atividades é menos de um, mostrando que o funcionário que está naquele posto tem certa ociosidade.

Fadiga: É um fator que é aplicado em toda medida de cronoanálise considerando o desgaste natural do ser humano enquanto está fazendo uma tarefa repetitiva. Neste caso, esta empresa em estudo adota o valor de 16%, ou seja, qualquer medida de tempo é acrescentando este valor a mais no tempo real medido.

Ciclo: é o intervalo entre cada peça que passa naquele posto operativo. Observa-se que como são diferentes entre postos, identifica-se uma oportunidade possível de balanceamento.

Distribuição: Os métodos tradicionais de balanceamento de linha assumem que os tempos de operação em cada estação são fixos ou deterministas. Essa suposição não é realista, muitas vezes esses tempos são variáveis aleatórias (NKASU; LEUNG, 1995). Quando se coloca os dados no programa O Flex Sim®, este calcula para cada tarefa (posto de trabalho), com base nos dados daquele posto, uma distribuição característica que melhor representa o comportamento da variação daquele posto operativo. É importante destacar este ponto: Em um trabalho de modelagem pode ocorrer de se substituir uma distribuição de probabilidade de entrada por sua média percebida. Esta prática pode ser causada por uma falta de compreensão deste problema por parte do analista ou por falta de informação sobre a forma real da distribuição (por

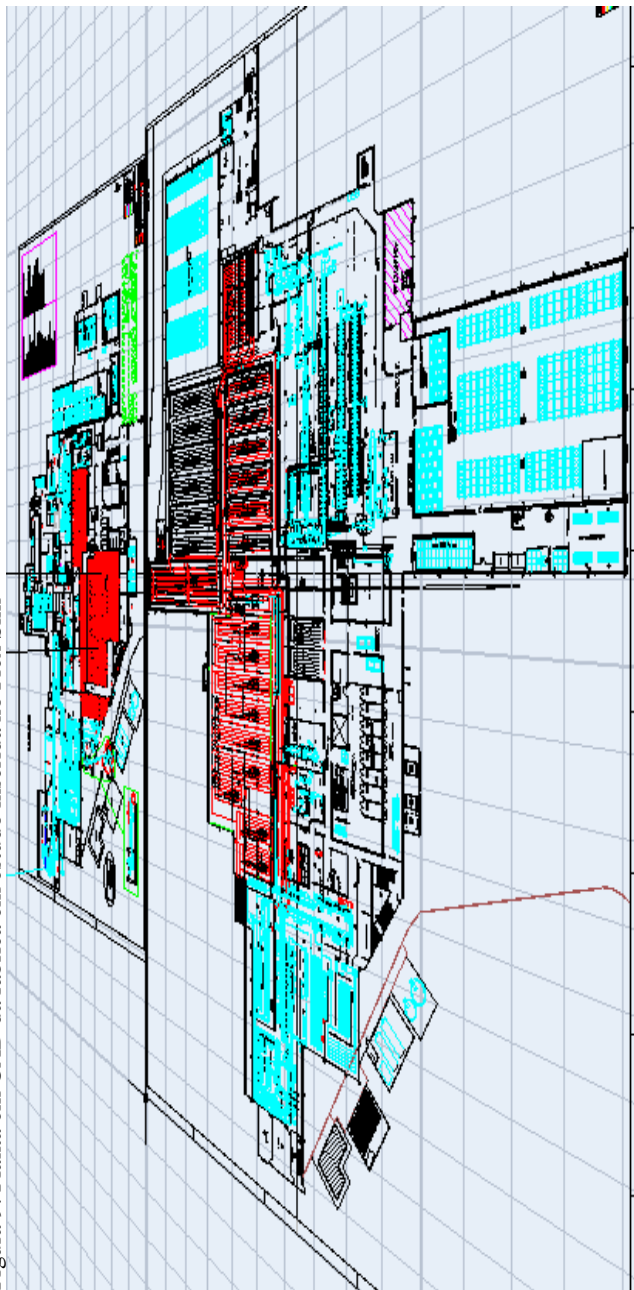
exemplo, apenas uma estimativa da média da distribuição está disponível). Este tipo de cálculo pode produzir resultados de simulação completamente errados. O Flex Sim® tem um pacote chamado de “Expert Fit” que o usuário pode usá-lo independentemente de seu conhecimento prévio de estatística aplicada. Ao usar este pacote, evita-se o risco de diminuir a precisão do modelo em função de se usar média ou até mesmo uma distribuição imprópria. Quando os dados do sistema estão disponíveis, uma análise completa com o pacote leva apenas alguns minutos. O pacote identifica a "melhor" das distribuições de probabilidade, e também informa ao usuário se a distribuição ajustada é aceitável para usar no modelo de simulação. Se nenhum das distribuições sugeridas pelo modelo proporcionar um ajuste adequado, o Expert Fit vai construir uma distribuição empírica. Em ambos os casos, a distribuição selecionada pode ser representada automaticamente na escolha do analista de software de simulação. Distribuições de probabilidade adequadas também pode ser selecionada quando não há dados do sistema estão disponíveis.

A figura 8 mostra uma tela típica do modelo inicial construído sobre a planta em CAD da fábrica, mostrada na figura 9.



Fonte: Programa Flex Sim®

Figura 9: Planta em CAD da fábrica em estudo inserida no Flex Sim



Fonte: Programa Flex Sim®

O modelo foi construído, com todos os inputs citados anteriormente, e representa a fábrica em operação desde a primeira etapa, recepção de suínos até a expedição do produto acabado. A partir deste modelo inicial será possível fazer as simulações que se deseja para as otimizações da planta e do indicador de Hh/tonelada.

É importante citar que no modelo criado no Flex Sim®, cada objeto (máquina ou operador que está processando alguma tarefa) contém um guia de estatística que relata as medidas estatísticas básicas enquanto a simulação é executada. Medidas de desempenho de objetos também podem ser apresentados dentro do layout do modelo. No modelo gerado, as estatísticas de objetos primários que são exibidos na guia Estatísticas incluem os seguintes itens:

*Throughput:* O número de itens entrando e saindo de um objeto.

*State:* Condição de operação atual (exemplo: ocioso, processando, aguardando por transporte), e um gráfico de pizza mostrando o % de tempo que o objeto encontra em determinado estado desde o início da simulação.

*Content:* Número médio, mínimo e máximo de itens em um objeto ao longo da duração de uma simulação, e um gráfico de linha opcional do número de itens em um objeto ao longo do tempo.

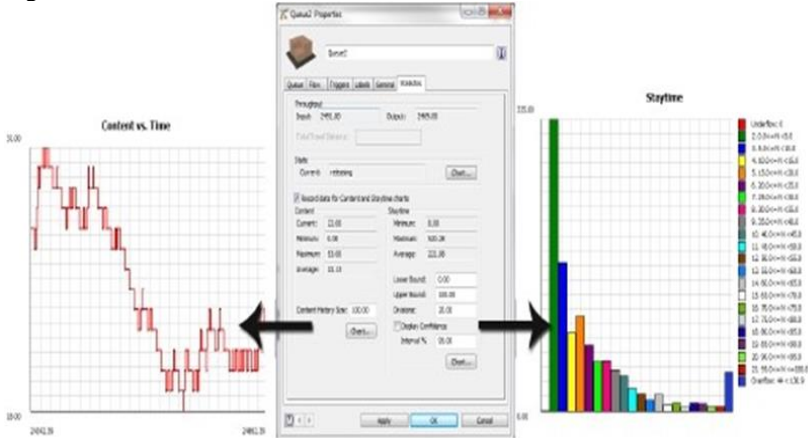
*Staytime:* Tempo médio, mínimo e máximo que os itens gastam em um objeto ao longo da duração de uma simulação e um histograma opcional destes tempos.

A figura 10 ilustra um exemplo da janela do modo estatísticas e suas saídas.

Estas medidas gerais são úteis para verificar se o modelo está funcionando como esperado, no entanto, os projetos de simulação devem ter objetivos específicos, junto com um conjunto correspondente de medidas de desempenho definidas que são utilizados para avaliar o desempenho de um sistema. Como um sistema será concebido e analisado, existem algumas medidas chave que são utilizadas para determinar a melhor configuração. Estas medidas chave (também conhecidas como variáveis de resposta, que são as saídas de um modelo de simulação. No caso específico deste projeto de pesquisa a variável resposta principal é o Hh/ton, que é o número de horas gastas em todo o processo para fazer uma tonelada de produto, e aqui vale o conceito de quanto menor este indicador, mais eficiente está o processo, traduzindo que está se fazendo mais volume com menos mão de obra ( horas) Os resultados são comparados com os critérios de desempenho do sistema e conduzem a definição de alternativas de configurações e a valores

correspondentes das variáveis de entrada controláveis (também chamado de variáveis de decisão).

Figura 10: Modo estatística e suas saídas



Fonte: Programa Flex Sim®

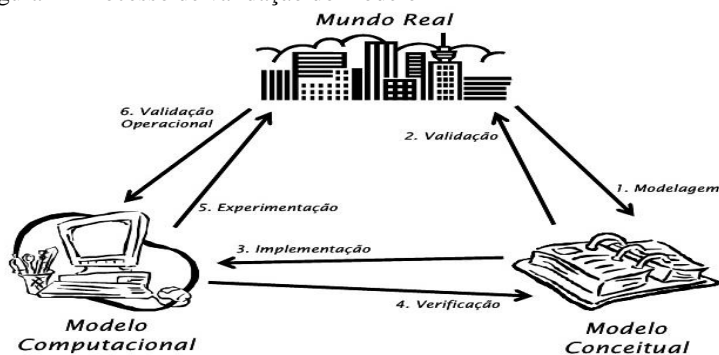
Um conceito que o programa considera é que se a entrada para um modelo de simulação é estocástica ou probabilística, então a saída também será estocástica. Na maioria das vezes há várias entradas aleatórias para o modelo (por exemplo, o tempo entre as carcaças suínas, o tempo entre falhas se por acaso houver uma interrupção no abastecimento de carcaças).

➤ Validação do modelo:

Após concluídas as etapas anteriores citadas, tem-se o modelo inicial, que seria o estado atual de operação da planta, sem nenhum tipo de melhoria realizada, onde a base inicial foi obtida a partir dos dados de input, citados na tabela 7 e os dados já calculados pelo software Flex Sim® na tabela 8. Nesta etapa deve-se avaliar o grau de confiabilidade que este modelo inicial tem, confirmando se este modelo representa a situação real do *modus operandi* da planta em estudo. A figura 11 ilustra o que seria o fundamento da validação.



Figura 11 Processo de validação do modelo



Adaptado pelo autor (2016)

A validação do modelo conceitual consiste em verificar se o modelo elaborado consegue apresentar a dinâmica dos eventos que ocorrem no sistema entre entidades e recursos. A verificação do modelo computacional é a checagem de que o modelo conceitual está corretamente representado no software de simulação ou se não há erros na lógica de programação. A validação do modelo operacional tem o objetivo de confirmar se os dados obtidos na simulação são compatíveis com os dados reais, e, para isto, é necessário realizar testes estatísticos, como o teste de hipótese – teste z de duas amostras para a diferença entre médias.

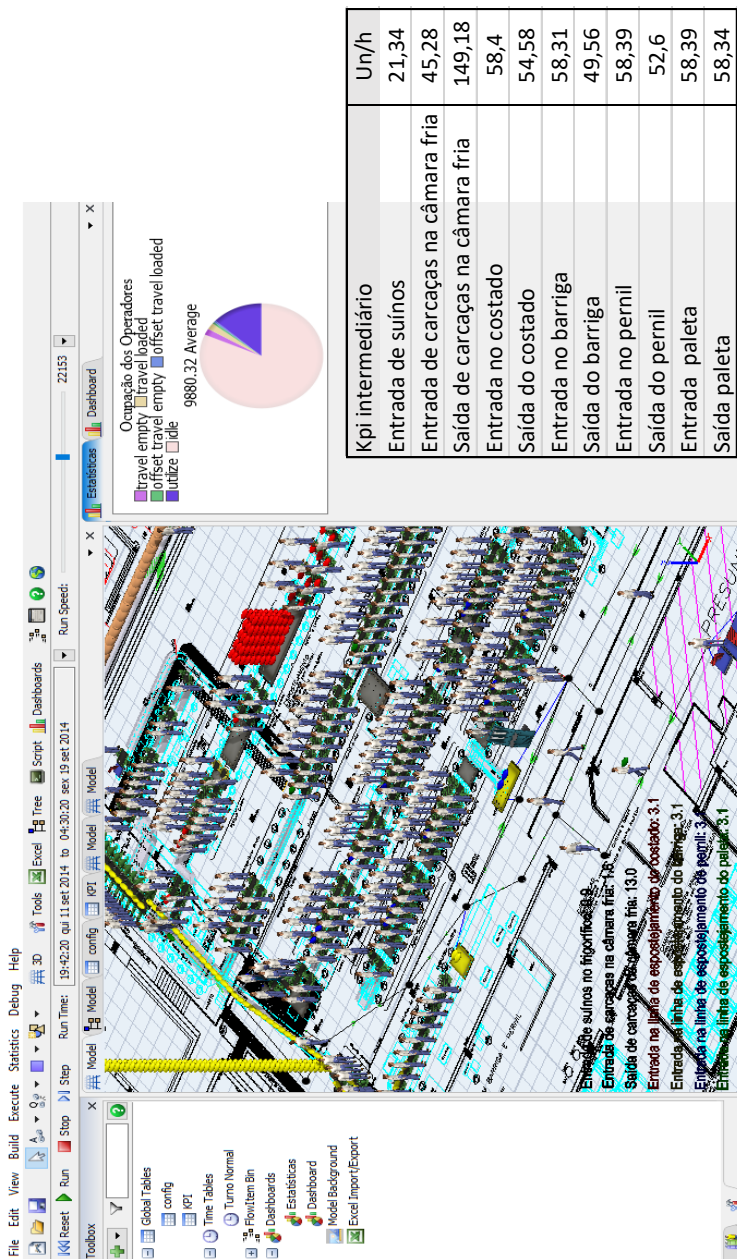
Entretanto, por mais que sejam realizadas validações e verificações, segundo Chwif e Medina (2006) não é possível validar o modelo em 100% ou garantir que seja 100% válidos, bem como não há como garantir que um modelo seja totalmente livre de “bugs”, porém são necessários para que seja obtido um nível de confiança para o qual um modelo possa ser considerado válido para a sua aplicação pretendida, que é a realização de experimentos, pois para isso é que o modelo de simulação foi construído (PIID, 2004). O que se pode ressaltar é que validar os kpis de saída a partir de uma única simulação de um modelo, seria análogo a fazer inferências com base em uma amostra de tamanho único. A fim de tirar conclusões e fazer inferências válidas, modelos de simulação devem ser replicados, isto é, os modelos devem ser executados várias vezes. Isto envolve amostras aleatórias independentes de várias distribuições estatísticas que podem ser utilizadas em um modelo. As informações coletadas através das várias simulações são combinadas para fornecer uma base para conclusões e inferências. É muito importante saber se a evolução dos Kpis minuto a minuto, as

ociosidades intrínsecas entre etapas, os acúmulos de produtos que se obtêm quando se simula o funcionamento do modelo inicial, representa com aceitável grau de confiabilidade os valores reais da planta em estudo. Desta forma, para a validação do modelo inicial, foram feitos diversos testes para validação do modelo. Esta validação é muito importante, para se garantir a consistência das etapas seguintes do projeto de pesquisa. Para a validação do modelo foram utilizados os seguintes parâmetros de avaliação:

- Entrada de suínos;
- Entrada de carcaças na câmara fria;
- Saída de carcaças na câmara fria;
- Entrada nas linhas de cortes;
- Saída das linhas de cortes;

Para todas essas entradas e saídas foram analisados os estoques intermediários, e análise de resíduos destes dados, que é a diferença entre o valor experimental observado na coleta real (exemplo: entrada de carcaças na câmara fria por um período) e o valor que o modelo registra para este mesmo KPI, no mesmo período de corrida do modelo, equivalente ao período real avaliado. A figura 12 é uma das telas do modelo durante a validação, onde se avalia os acúmulos de estoque e é possível avaliar o fluxo de material citado acima, e ser avaliado a repetibilidade do modelo em relação a situação real. Na figura 12 pode ser observado que o fluxo de variação de entrada e saída de carcaças e os principais cortes pode ser acompanhado em tempo real, assim como a taxa de ocupação dos operadores. Esses parâmetros foram utilizados na validação da consistência do modelo utilizando um histórico recente dos dados reais da planta. Além de se validar esses parâmetros gerados pelo modelo, também foram realizadas uma validação do processo em si com a equipe técnica, com o objetivo de se confirmar se todas as etapas do processo estavam na mesma ordem que é executado na situação real.

Figura 12: Tela de avaliação do fluxo de materiais – validação modelo



Fonte: Do autor (2016)

Outra validação feita foi a verificação sobre a amostragem das tomadas de tempo das tarefas. Com essas informações foi realizado uma replicação do processo dentro do simulador, sendo utilizadas 10 replicações de cada tempo de tarefa, onde se chegou a uma mediana estável. A mediana é o valor que cada parâmetro alcança dentro das replicações e esse valor é comparado com o histórico de produção, sendo que a validação é aceita se esses percentuais não extrapolarem mais que 2% de variação, que seria o limite aceitável para processo desta natureza.

## **4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS**

O modelo inicial construído seguindo os passos da metodologia adotada (BANKS et al, 2005), contemplando a planta em operação, com mais de 800 postos operativos distintos, representa o estado atual da planta. Na sequência procedeu-se para a análise e balanceamento dos postos operativos com foco no incremento de produtividade e dimensionamento da equipe de pausas para atender as normas trabalhistas.

A partir deste ponto, todas as análises e decisões passaram a serem conduzidas por meio das interpretações das simulações e otimizações feitas com o modelo inicial montado no Flex Sim®.

### **4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO ATUAL**

A planta estudada e utilizada para aplicação da construção da modelagem, simulação e otimização para melhoria de produtividade de forma mais adequada para as especificidades do balanceamento de linhas de abates, tem muitas das características citadas no item anterior. É uma planta de mais de 60 anos, com abate diário de 6.500 suínos por dia, onde sua ampliação ao longo dos anos foi feita de acordo com as limitações físicas de espaço, onde não se construiu um fluxo ideal (por exemplo, linear, com mínimo de etapas de transpasse de produto), tendo dois pisos principais e alguns mezaninos, que muito dificultam o escoamento do produto. Desta forma, qualquer ampliação está inviabilizada por falta de espaço, e o caminho ideal seria uma otimização de fluxo e balanceamento de postos operativos para se avaliar as opções atuais de melhoria de produtividade, compatíveis com as limitações da fábrica.

Cada animal pesa cerca de 120 kg (peso vivo com sangue e vísceras) com uma variabilidade de até 15 % deste peso, sendo que esta variação de peso interfere no tempo e complexidade de cada tarefa efetuada. É por este motivo que um dos inputs mais importantes no modelo é tempo de execução de cada tarefa, onde foram feitas mais de 10 coletas por operador, pois cada tarefa executada pelos diferentes operadores tem a variação inerente a característica de ritmo do operador e também em relação ao tamanho da carcaça do animal.

Em algumas etapas do processo, como por exemplo, na área de cortes, etapa onde o animal é cortado em várias partes, as tarefas ocorrem em paralelo de forma simultânea, que é o caso das linhas de desossa e corte de paleta, pernil, costado e lombo. Nestas etapas, o ritmo é

determinado pelo fluxo de produto que vem na esteira e vários operadores executam a mesma tarefa ao mesmo tempo, sendo que se cada um tiver ritmos diferentes, alguns terão uma carga de peças /hora maior que outros e conseqüentemente uma fadiga maior ao longo do tempo.

Com base nos desafios citados do processo, determinou-se os principais parâmetros de processo e produto que devem ser considerados na construção do modelo, pois interferem diretamente nos kpis finais, como a produtividade:

\* Velocidade característica da nórea no abate:

A velocidade da nórea de abate é a que estabelece a quantidade de carcaça por hora que vai passar em cada etapa do processo. Em uma situação normal, esta velocidade é para ser fixa (em torno de 420 carcaças por hora), mas no decorrer da produção, anomalias podem acontecer fazendo esta velocidade diminuir e modificar a velocidade de todo o fluxo do processo.

\* Não conformidades geradas nas carcaças:

O número de carcaças condenadas e não conformidade de qualidade, durante a etapa inicial de abate é também um input importante, pois se ela for muito alta, será enviado menos produto para as etapas posteriores, gerando possível ociosidade e desbalanceamento da linha.

\* Diferença de velocidade e ritmo dos operadores nas etapas de corte e desossa;

Se houver uma diferença de ritmo muito grande entre funcionários de uma mesma função (por exemplo, na desossa de paleta, há 14 colaboradores fazendo exatamente a mesma tarefa) haverá acúmulo de produto ao longo das células. Desta forma um input importante são os tempos de tarefa por operador, que é coletado pelo cronoanalista e inserido no modelo.

\* Ociosidades nas linhas de abate e corte:

Se houver alguma ociosidade momentânea (redução de fluxo de produto), como por exemplo, falta de suínos na recepção, fazendo passar a nórea vazia sem carcaça, ou falta de funcionários nas etapas de corte, que são as etapas mais críticas de mão de obra, haverá oscilação significativa na produtividade do processo. Desta forma é importante ter no modelo input de número de funcionários por etapa do processo e o número de suínos sendo processado por hora.

\* Acúmulo de produtos nos entrepostos das etapas do processo:

O modelo também necessita prever eventuais acúmulos de produto entre etapas para poder prever o ritmo de trabalho nas etapas seguintes. Logo para se construir o modelo inicial é importante inserir a capacidade de

cada etapa do processo, e se houverem diferenças de capacidades significativas (acima de 10%), inserir uma previsão inicial de acúmulo de produto entre tarefas. Pois esta premissa de acúmulo deve ser considerada pelo modelo, no momento de fazer a otimização.

A organização inicial dos dados foi executada para iniciar a construção do modelo inicial da planta. O modelo contempla desde a área de recebimento do animal vivo até a embalagem final das partes de cortes industriais.

#### 4.2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta fase é chamada de experimentação e análise (BANKS et al, 2005), onde após a validação do modelo, é a fase fundamental do trabalho, onde se começou a fazer análise dos dados gerados pelo modelo, como por exemplo, as velocidades do processo etapa a etapa, expressos em carcaças/min ou kg/min, e outro importante kpi que o modelo gerou para análise foi a taxa de ocupação de cada posto operativo, que é o tempo que está sendo alocado para se executar a tarefa relativo ao volume da linha, comparado ao tempo real que se tem disponível para se processar (tempo total do turno). Esta análise é de grande importância para o trabalho de pesquisa, pois a avaliação das ociosidades etapa a etapa do processo, é uma das grandes estratégias para a melhoria do Kpi Hh/Ton, que um dos ganhos inerentes ao trabalho. O modelo faz uma varredura no tempo de execução de 100% das tarefas e compara com o tempo disponível que se tem para cada tarefa, isto sempre considerando o tempo padrão mínimo para se processar uma peça, que já foi aqui definido, como sendo o tempo mínimo necessário para processar uma peça naquele posto de trabalho específico. Isto é feito dividindo o tempo total disponível pelo número de carcaças que passa por minuto na linha. Desta forma é obtida a taxa de ocupação de cada tarefa. A tabela 9 mostra a taxa de ocupação de uma parte das tarefas dos processos (a taxa de ocupação foi calculada para 100% dos postos operativos), onde pode-se observar claramente a oportunidade que se tem de balanceamento entre postos.

Tabela 9: Taxa de ocupação de tarefas

Processo	Ocupação	processing	blocked	waiting for operator	waiting for transporter
lavar_suinos	↓ 15,28%	12,63%	0,00%	2,65%	0,00%
tatuar	↗ 51,89%	4,22%	0,00%	0,00%	47,67%
alojar	↓ 23,97%	4,22%	3,46%	0,00%	16,29%
desalojar	↑ 93,89%	6,33%	81,82%	0,00%	5,74%
imobilizacao_butina	↑ 63,59%	61,73%	1,86%	0,00%	0,00%
saida_butina	↗ 63,78%	61,55%	2,22%	0,00%	0,00%
sangria	↑ 98,54%	60,34%	35,56%	2,64%	0,00%
escaldagem	↑ 95,39%	12,08%	83,30%	0,00%	0,00%
expor_tendao	↑ 97,11%	41,88%	52,58%	2,65%	0,00%
rependura	↑ 96,43%	23,31%	70,46%	2,66%	0,00%
pendura_norea	↑ 97,07%	40,06%	54,35%	2,65%	0,00%
corte_interdigital	↑ 97,33%	45,41%	51,92%	0,00%	0,00%
retirar_ouvido	↑ 97,25%	52,92%	44,33%	0,00%	0,00%
retirar_palpebra	↑ 97,18%	57,35%	37,18%	2,65%	0,00%
barbeacao_raspagem	↑ 96,34%	37,09%	59,25%	0,00%	0,00%
oclusao_reto	↑ 97,10%	51,01%	43,43%	2,65%	0,00%
abertura_toraxica	↑ 96,34%	37,60%	58,73%	0,00%	0,00%
abertura_abdominal	↑ 96,82%	55,86%	38,31%	2,65%	0,00%
expor_reto	↑ 93,00%	49,57%	43,43%	0,00%	0,00%
amarrar_reto	↑ 95,90%	59,43%	33,86%	2,62%	0,00%
abrir_papada1	↑ 95,45%	22,74%	70,10%	2,62%	0,00%
expor_lingua	↑ 96,72%	53,69%	40,41%	2,62%	0,00%
desnucar	↑ 96,68%	9,83%	84,23%	2,63%	0,00%
medir_testiculo	↑ 96,76%	9,01%	85,12%	2,63%	0,00%
retirar_testiculo	↑ 96,78%	52,34%	41,81%	2,63%	0,00%
retirar_rabo	↑ 95,65%	43,72%	49,30%	2,63%	0,00%
retirar_visceras_branças	↑ 95,90%	80,76%	12,51%	2,63%	0,00%
retirar_visceras_vermelhas	↗ 54,87%	27,62%	24,62%	2,63%	0,00%
desencapsular_rins	↗ 68,69%	45,04%	21,02%	2,62%	0,00%
tirar_carne_sangria	↑ 76,00%	54,50%	18,87%	2,63%	0,00%
higienizar_balancim	↓ 24,86%	22,22%	0,00%	2,64%	0,00%
carimbar_carcaca	↑ 77,10%	55,67%	18,80%	2,63%	0,00%
retirar_carne_sangria_2	↗ 73,70%	50,92%	20,14%	2,64%	0,00%
cortar_mao	↗ 67,48%	42,08%	22,75%	2,65%	0,00%
retiraringuinal	↗ 67,81%	39,29%	25,87%	2,65%	0,00%
pso_1	↑ 79,33%	57,16%	19,53%	2,65%	0,00%
retirar_medula	↗ 74,61%	52,04%	19,92%	2,65%	0,00%
1refile_1	↗ 52,03%	49,25%	0,14%	2,65%	0,00%
1refile_2	↑ 69,12%	66,29%	0,18%	2,65%	0,00%
1refile_3	↑ 78,56%	75,73%	0,19%	2,64%	0,00%
serrar_carcaca	↗ 72,28%	49,60%	20,06%	2,62%	0,00%
embalar_pele_papada	↓ 11,84%	11,84%	0,00%	0,00%	0,00%
2refile_1	↗ 70,84%	68,19%	0,00%	2,65%	0,00%
2refile_2	↗ 56,98%	54,33%	0,00%	2,65%	0,00%
embalar_papada	↗ 61,96%	59,32%	0,00%	2,65%	0,00%
chiller_papada	↓ 11,84%	11,83%	0,00%	0,01%	0,00%
deslocar_mandibula	↑ 95,72%	93,07%	0,00%	2,65%	0,00%
trimmer_cabeca1	↑ 68,22%	65,94%	2,28%	0,00%	0,00%
retirar_carne_cabeca1	↗ 74,25%	71,58%	0,03%	2,65%	0,00%
retirar_pele	↓ 6,22%	6,22%	0,00%	0,00%	0,00%
embalar_cabeca	↓ 6,22%	6,22%	0,00%	0,00%	0,00%
tirar_banha_rama	↑ 86,19%	49,75%	36,44%	0,00%	0,00%
carimbo	↗ 70,27%	31,27%	39,01%	0,00%	0,00%
tipificacao	↗ 73,05%	31,26%	41,79%	0,00%	0,00%

Fonte: Programa Flex Sim®



Nas tarefas onde se têm baixa taxa de ocupação pode-se avaliar uma possível otimização, fazendo com que o mesmo operador execute duas tarefas, sempre avaliando sua condição ergonômica final. Por meio dessa análise global de otimização da taxa de ocupação, pode ser possível reduzir o número total de operadores da planta, mantendo o mesmo volume e desta forma melhorar o kpi Hh/ton. Para melhor avaliação desta taxa de ocupação, o modelo a decompõe em alguns tempos, que é importante se entender o que cada um significa:

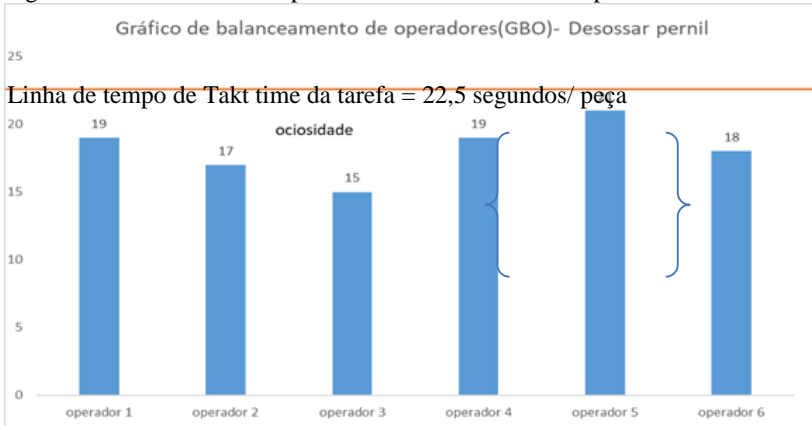
- Ocupação: É o tempo total que o operador ocupa para processar toda a tarefa, em relação ao tempo que ele tem disponível para cada peça.
- Processing: dentro do tempo de ocupação, é o tempo que ele de fato está mobilizado executando a tarefa.
- Blocked: Ocorre se o processo foi interrompido devido a limitação da próxima etapa. Um exemplo seria o processo de alojar e desalojar o suíno, que depende que a etapa posterior esteja fluindo para que a etapa em questão não fique parada.
- Waiting for operator: O processo necessita de um operador para ser executado. Na falta deste, o processo fica neste status até o operador retornar ao posto onde tem esta demanda.
- Waiting for transporter: É similar ao anterior, com a diferença que a etapa já foi executada, mas depende de um operador ou elemento de transporte para levar a próxima etapa.

Com base na taxa de ocupação de tarefas, o programa Flex Sim® faz um balanceamento etapa a etapa do processo, usando o conceito que foi abordado na revisão bibliográfica, conhecido na metodologia Lean como GBO (Gráfico de balanceamento de operadores), que nada mais é que comparar o tempo total disponível que cada operador tem no seu turno de trabalho, com o tempo total necessário para processar o volume de produto que está passando na linha. Este tempo total se baseia no tempo padrão mínimo se processar uma peça, naquele posto de trabalho. Na figura 13 é possível observar o tempo em segundos que cada operador (representado por cada coluna) gasta para executar a tarefa desmembrar pernil, relativo a 1 carcaça, e a linha horizontal é o tempo takt de uma peça, ou seja, o intervalo entre uma carcaça e outra.

No gráfico da figura 13, há o exemplo de uma tarefa específica, “desmembrar pernil”. O Takt time da linha é 22,5 segundos. Observa-se

que o tempo que cada operador leva para desmembrar este pernil varia entre 15 segundos, menor tempo, e 21 segundos. Ou seja, todos os operadores realizam a tarefa abaixo do tempo takt de 22,5 segundos. Se a coluna de tempo de realização da tarefa dos operadores está abaixo da linha de takt time, significa que há ociosidade nesta tarefa. E se forem somados os tempos de todos os operadores (colunas) e divididos pelo takt time, chega-se ao número de operadores necessários para aquela tarefa. Observa-se que neste caso específico desta tarefa, o número necessário seria 5, enquanto que na situação atual existem 6 operadores na linha. Ou seja, temos 1 operador a mais neste posto de trabalho que se for retirado, não vai atrasar o fluxo da produção. É esta análise que foi feita em cada posto operativo de toda a planta. O resultado final é a tabela 10 onde temos o diagnóstico da área de cortes, que foi o local onde se obteve a maior diferença, entre os números de postos atuais e o número de postos necessários para processar a tarefa. O programa faz um ajuste para um número a maior, caso o número teórico de pessoas necessárias, resulte em um valor decimal.

Figura 13: Balanceamento operadores-tarefa desmembrar pernil



Fonte: Do Autor (2015)

Para se chegar a esta tabela final, o modelo fez várias iterações para se consolidar a taxa de ocupação característica de cada posto, analisando a oportunidade do gráfico GBO individual e avaliando o risco de retirada de cada posto, com o objetivo de não se ter o risco de gerar novos gargalos, em função de um sub dimensionamento da linha, ou seja, a retirada de postos além do limite necessário para manter o fluxo normal, em função da demanda atual.

Tabela 10: Balanceamento postos área de cortes

Análise: Equipe para Abatedouro de Suínos - planta: BRF Toledo - PR	tempo padrão	N Operadores (Real)	Quantidade (teórica) de operadores necessários	Quantidade de operadores necessários (após arredondamento)	
<b>ESPOSTEJAMENTO</b>					<b>DIFERENÇA</b>
retirar_file (baixar filé)		3	2,25	3	0
retlia_formata_file		7	6,75	7	0
pesar_file		2	1,01	1	1
embalar_file		2	1,22	1	1
grampear_file		2	1,09	1	1
rependura_resfriado		2	1,34	2	0
PSO 2		1	1,00	1	0
injetar_ar		1	1,01	1	0
demburar carcaça		1	1,12	1	0
cortar tendão		1	0,82	1	0
esquartejar (separar carcaça)		1	1,62	1	0
desossa		10	12,20	12	-2
cortar pé		1	1,00	1	0
osso sacro		1	1,00	1	0
courear costado		3	2,00	2	1
retliar_costado		14	14,00	14	0
corte_carre		2	1,33	2	0
retliar_carre		6	4,28	5	1
retliar_lombo		2	7,98	2	0
tirar osso		3	1,22	2	1
gordura_fime		3	5,07	3	0
serra_costela		1	1,14	1	0
espinhaço		1	0,94	1	0
retrabalho_costela		2	2,00	2	0
embala_costela		1	1,00	1	0
transpassa_corte		1	0,96	1	0
etiqueta_costela		2	2,00	2	0
rembala_costela		2	2,00	2	0
cortar_gordura_espinal		2	2,00	2	0
courear_pele		2	1,29	2	0
limpar_pele		5	5,07	5	0
formatar_pele		2	1,88	2	0
limpar_gordura_fime		1	1,00	1	0
embala_pele		2	1,00	1	1
courear barriga (courear pemil)		4	2,60	4	0
embalar pemil		1	1,00	1	0
bacia Joelho		1	1,00	1	0
courear_branca		12	8,92	10	2
trimmer pemil		8	5,02	6	2
desossa pemil		18	13,49	16	2
PRDI pemil		4	2,40	3	1
embala pemil		2	2,00	2	0
corte pemil		12	8,78	10	2
desmembrar-pemil		6	4,66	5	1
ferrar pemil (ferrar bacia)		5	5,44	5	0
retliar_coxão_duro		16	10,34	12	4
retliar_coxão_mole		14	10,04	10	4
retliar_patinho		7	5,78	6	1
retliar_alcatra		5	3,70	4	1
retliar_argentina		2	2,00	2	0
retirar_costela_barriga (desossar barriga)		7	8,03	8	-1
classificar_barriga		1	0,80	1	0
serrar_barriga (serrar costela)		1	1,71	1	0
pesar_barriga (pesar costela)		1	1,00	1	0
embalar_barriga (embalar costela)		8	1,00	1	7
trimmer barriga		2	1,70	2	0
courear_paleta		10	12,70	12	-2
desossa_paleta		17	12,95	16	1
retlia_gordura_paleta		42	32,24	36	6
revisa_paleta		2	2,00	2	0
arrumar_bacia		1	1,00	1	0
retalho_paleta		2	0,00	2	0
final_paleta		2	0,00	2	0
SUB TOTAL		305	253,9	269	36

Fonte: Do Autor (2015)

### 4.3 EXECUÇÃO DO BALANCEAMENTO REAL DA LINHA E RESULTADOS DO KPI HOMEM-HORA/TON

O resultado final desta análise de ociosidade e balanceamento de postos, foi uma diferença total na planta, somando os dois turnos, de 74 pessoas a menos em relação ao quadro atual. Isto significa que a planta na situação atual poderia produzir o mesmo volume atual, com este número de pessoas a menos, o que resultaria em significativa redução no indicador de Hh/tonelada. A tabela 11 mostra o resumo do número total de postos, por área, que o programa identificou como oportunidade de redução.

Tabela 11: Resumo

Área	Funcionários atual (2 turnos)	Funcionários necessários (2 turnos <i>Flex Sim</i> )	Diferença ( Atual x <i>Flex Sim</i> )
Recebimento suínos	32	32	0
Abate	97	95	2
Área de cortes	610	538	72
<b>Total</b>	<b>739</b>	<b>665</b>	<b>74</b>

Fonte: Do autor (2015).

A oportunidade identificada pelo modelo foi então cuidadosamente avaliada, validada pela gerência da planta e executada a fase de balanceamento e retiradas dos operadores que estavam a mais nos postos. Todo este trabalho foi feito em conjunto com a equipe de ergonomia e segurança do trabalho, com objetivo de avaliar se a retirada das pessoas não poderia sobrecarregar os demais operadores que se manteriam na linha, gerando algum tipo de risco de lesão por esforço repetitivo. Dos 74 postos que foram levantados, 52 foram validados pela equipe de segurança do trabalho, assegurando de que não haveria risco ergonômico com a redução daquele posto. Desta forma o balanceamento da linha foi executado fazendo a retirada gradativa desses 52 postos validados, sendo que esta operação de retirada gradativa durou 3 meses, onde neste período sempre foi acompanhada a reação do volume para se

avaliar se não haveria uma possível retraída deste, em função do menor número de pessoas.

Na tabela 12 são apresentadas as tarefas com a referida redução de postos e comparação da taxa de ocupação de cada tarefa, antes e depois do processo de balanceamento e retirada de postos. Observa-se que, após o balanceamento, a taxa de ocupação média, nessas tarefas, subiu de 43,71% para 71,56%, ou seja, a grande essência do balanceamento: otimizar postos em que há ociosidade, aproveitando-se esse tempo ocioso para se fazerem mais peças/minuto/operador, mantendo-se a premissa de não expor a equipe a risco ergonômico e de não gerar gargalos em quaisquer tarefas ajustadas.

Observa-se que as taxas finais de ocupação não são niveladas em valores próximos, apresentando diferenças entre si, pois, dependendo do grau de complexidade da tarefa, não é aconselhável que a taxa de ocupação tenha valores elevados, em função de risco ergonômico, como por exemplo peças de alto peso, que o operador manuseia. Neste trabalho foi utilizado a premissa de que a taxa de ocupação média após o balanceamento não ultrapassasse 90%, almejando-se ter valor de segurança em relação à taxa máxima (no caso, 100%) para evitar fadiga excessiva ou acúmulo de estoque.

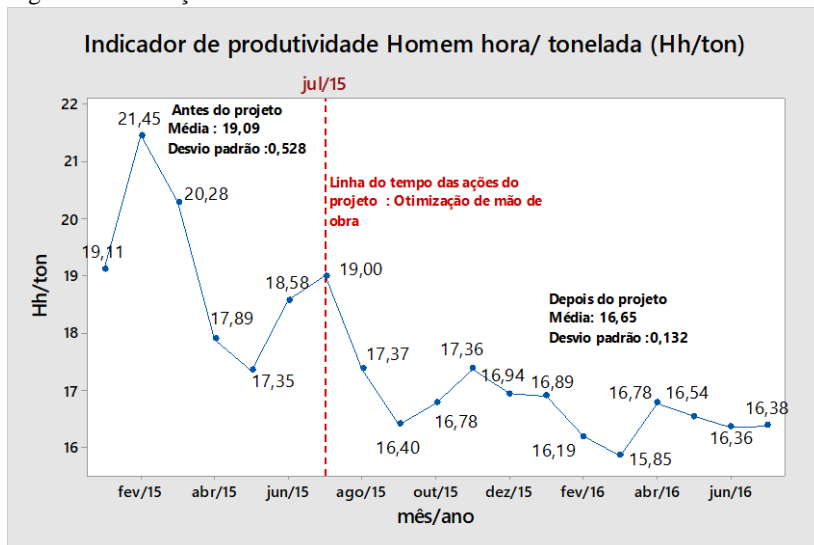
Tabela 12: Taxa de ocupação das tarefas onde houveram alteração: antes e depois do balanceamento

Posto operativo	Operadores antes otimização	Taxa ocupação operador na tarefa antes da otimização	Operadores depois da otimização	Taxa ocupação operador na tarefa depois da otimização	Número de operadores reduzidos
Pesar Filé	2	34,00%	1	78,88%	2
Embalar filé	2	37,00%	1	85,84%	2
Embalar pele	2	32,00%	1	74,24%	2
Embalar barriga	8	67,00%	7	88,82%	2
Clipar filé	2	37,00%	1	85,84%	2
Retirar osso	3	32,20%	2	56,03%	2
Refilar pernil	8	41,00%	6	63,41%	4
Refilar"coxão duro"	16	47,50%	14	62,97%	4
Refilar"coxão mole"	14	42,70%	12	57,79%	4
Refilar "patinho"	10	34,00%	7	56,34%	6
Refilar paleta	42	72,00%	40	87,70%	4
Refilar "carré"	6	29,00%	4	50,46%	4
Refilar lombo	2	38,10%	1	88,39%	2
Desossar paleta	17	44,84%	15	58,95%	4
Desossar pernil	18	59,62%	16	77,80%	4
Cortar pernil	12	51,38%	10	71,52%	4
<b>Total x 2 turnos</b>	<b>328</b>	<b>43,71%</b>	<b>276</b>	<b>71,56%</b>	<b>52</b>

Fonte: Do Autor (2015)

As figuras 14 e 15 demonstram o comportamento do indicador Hh/ton, após retirada dos postos.

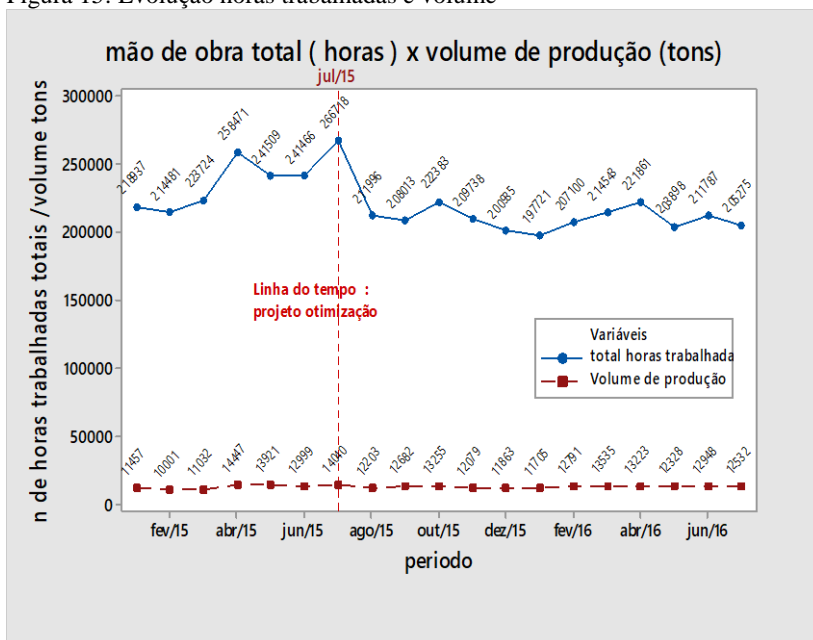
Figura 14: Evolução do indicador Hh/Ton



Fonte: Do Autor (2016)

Como o indicador Hh/ton é calculado dividindo-se as horas totais trabalhadas mensais, pelo volume total mensal de produto acabado, a retirada dos 52 postos gerou um impacto direto na redução total de horas mensais, e conseqüentemente na redução do indicador Hh/ton. E o esperado também é que se mantivesse o volume histórico produzido. A figura 15 mostra o comportamento das horas trabalhadas e do volume produzido, durante o mesmo período que o gráfico anterior.

Figura 15: Evolução horas trabalhadas e volume



Fonte: Do Autor (2016)

Pela figura 14, observa-se que a melhoria do indicador de Hh/ton coincide com o mesmo período em que houve a redução de horas (figura 15), em função da retirada dos postos. A tabela 13 mostra um resumo dos principais indicadores, antes e depois da retirada de postos.

Tabela 13: Indicadores antes e depois da retirada de postos

Indicadores	antes	depois	diferença %
Hh/Ton - Suíno	19,09	16,82	-11,89
Hh( horas totais trabalhadas)	237901	213702	-10,17
Volume (ton)	12577	12713	1,08

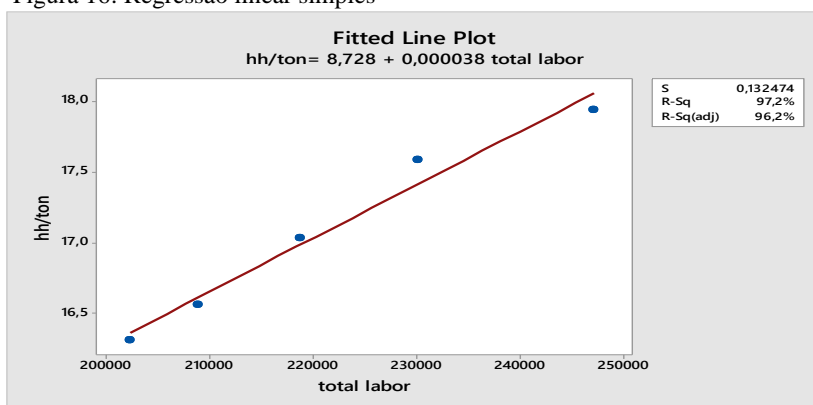
Fonte: Do Autor (2016).

O Kpi (indicador) Hh/ton no período avaliado melhorou em 11, 89%. As horas trabalhadas neste período reduziram em 10,17% e o volume se manteve estável com pequeno aumento de 1% comparando a média do período antes da otimização ( jan a jul/15) com a média do período após ( ago/15 a jul/16).



Interpretando este resultado, isto significa que a planta continuou produzindo o mesmo volume, realizando 10% de horas trabalhadas a menos, resultando em uma significativa redução de custo e consequentemente, maior produtividade, consolidando a primeira etapa do objetivo do projeto de pesquisa. Para se comprovar em definitivo o impacto direto da redução de horas trabalhadas (em função da redução do quadro de postos operativos) foi feito uma regressão linear simples entre o homem-hora /tonelada (Hh/ton) e a horas trabalhadas, abrangendo o período antes e após a retirada de postos (figura 16 e tabela 14)

Figura 16: Regressão linear simples



Fonte: Do Autor (2016)

Tabela 14: Variáveis antes e depois da otimização/balanceamento de mão de obra

Períodos	Homem-hora/ton	Horas trabalhadas	Observações
trimestre 2 2015	17,94	247179	Período antes do balanceamento da mão de obra
trimestre 3 2015	17,59	230098	
trimestre 4 2015	17,03	218720	Período quando foram retirados 52 operadores
trimestre 1 2016	16,31	202200	Período depois do balanceamento da mão de obra
trimestre 2 2016	16,56	208902	

Fonte: Do Autor (2015).

Observa-se que o coeficiente R ajustado de 96,2 % demonstra uma forte correlação entre a variação da hora trabalhada x o indicador Hh/ton, no período estendido de um ano, que inclui a fase de execução do projeto, expressos cada ponto por trimestres. Os primeiros dois pontos do gráfico são justamente os dois trimestres após a execução das ações, apresentando uma redução /estabilização das horas trabalhadas, devido a retirada dos postos operativos executadas no projeto, gerando um indicador de Hh/ton, significativamente menor.

Essa melhoria com a retirada dos postos operativos só foi possível em função da otimização da taxa de ocupação dos postos, já mostrada na tabela 12, aumentando-se o número de peças operadores /minuto em nível seguro, sem desgaste dos operadores remanescentes ou acúmulo de estoque.

Esta fase inicial de modelagem e balanceamento demonstrou grande potencial de aplicação para plantas de abate similares. Para uma futura aplicação seria necessário montar um modelo atual com os dados característicos de cada planta (capacidades, layout, tempo de cada tarefa, quadro de funcionários e outros), mas o conceito de se usar a modelagem como caminho para otimização do processo, é viável para todas as plantas.

#### 4.4 DIMENSIONAMENTO DAS PAUSAS

Um dos objetivos específicos deste projeto de pesquisa diz respeito a utilizar o modelo construído para dimensionar os recursos necessários para atender as exigências legais do ministério do trabalho relativo a carga horária e pausas por tempo de trabalho contínuo. Conforme visto na tabela 6, para o tempo que hoje é trabalhado por turno, de 8,48 hs, o tempo exigido é de 60 min por turno, que para o regime atual de 2 turnos equivale a 120 minutos por dia. E a norma também cita que os períodos unitários de pausas devem ser entre no mínimo 10 minutos e no máximo 20 minutos. Neste caso para a planta em estudo se for adotado a pausa unitária máxima de 20 minutos seriam 3 pausas por turno. Esta exigência está fundamentada na NR36 (Segurança e saúde no trabalho em empresas de abate e processamento de carnes e derivados) publicada em Portaria MTE número 555 de 18 de abril de 2013. O objetivo desta norma é estabelecer os requisitos mínimos para a avaliação, controle e monitoramento dos riscos existentes nas atividades desenvolvidas na indústria de abate e processamento de carnes e derivados destinados ao consumo humano, de forma a garantir permanentemente a segurança, a saúde e a qualidade de vida no trabalho, sem prejuízo da observância

dispostas nas demais normas regulamentadoras - NR do Ministério do Trabalho e Emprego. O ponto principal neste caso, é avaliar qual a melhor forma de se executar essas pausas sob o ponto de vista da produtividade da planta. Pode-se atuar de duas formas em linhas gerais:

- Fazer com que todas as linhas parem essas 3 pausas por turno e então neste período das pausas não haverá produção, gerando uma redução da capacidade de produção por turno em 1 hora, o que representa uma redução de 11,4% do tempo disponível por turno, reduzindo também proporcionalmente a produção do turno.
- Estabelecer um sistema de rodízio durante as pausas, para que não se pare a produção. Para esta opção há necessidade de se ter uma equipe maior para que se tenha operadores suficientes para ocupar os postos de trabalho, enquanto uma parte está em pausa. Avaliando em linhas gerais, as duas opções afetam negativamente o indicador Hh/ton e o custo final do processo, sendo que na primeira, há redução do volume diário de produção e na segunda opção há necessidade de um quadro maior por setor.

O desafio seria então avaliar no detalhe essas opções no aspecto técnico e gerencial, qual opção melhor se encaixa na realidade atual da planta. Esta análise não é simples, e neste caso o modelo no Flex Sim® que foi montado para a planta, é utilizado para fazer esta análise onde dentre as opções que serão analisadas, devem ser incluídos os seguintes kpis:

- Volume de produção por turno;
- Quadro final de funcionários;
- Indicador Hh/ton.

Este tipo de análise, para se fazer com um nível de precisão aceitável, só foi possível com o modelo que foi montado, pois é necessário dimensionar o número mínimo de pessoas por área que se precisa para manter a linha em funcionamento durante as pausas, sem gerar grande ociosidade fora do horário das pausas.

Outro fator importante a ser analisado é que como as tarefas são muito específicas, se for utilizada a estratégia de um colaborador render a pausa de mais de um posto diferente, este deverá ter habilidade nestes postos e isto não é um fator simples de se equacionar, pois requer tempo de treinamento, e é necessário para manter o padrão de qualidade e ritmo da linha no mesmo nível durante todo o tempo. Desta forma para se implantar este sistema de pausa, é necessário fazer o que se chama de uma

curva de aprendizado, onde se admite que no início da implantação haverá uma perda de ritmo e conseqüentemente de volume de produção, até haver um nivelamento de conhecimento entre as pessoas que estão trocando de lugar. Por outro lado, se for decidido que o colaborador que ajudará a fazer a pausa, substituirá só um tipo de tarefa, ou seja, ele não será multitarefa, o tamanho da equipe terá que ser muito maior, o que inviabilizaria o custo operacional da linha.

Nesta linha de desenvolvimento, antes de fazer a simulação com o programa Flex Sim®, foi necessário avaliar com as equipes técnicas da planta, quais cenários seriam testados, levando em conta algumas premissas básicas:

- Demanda de volume - Avaliar a demanda para os meses à frente, e o histórico dos últimos 2 anos, pois se a demanda estiver baixa, ou seja, até 15 a 20 % abaixo da capacidade atual da planta, não compensa aumentar equipe para render a pausa, e o mais coerente seria parar a linha na pausa, já que a demanda está baixa.

- Capacidades de cada área

Para melhor avaliar este item, o processo foi dividido em basicamente 3 partes: abate do animal, área de cortes e embalagem final. Cada área tem uma capacidade distinta, e isto pode ser uma premissa utilizada para gerar os cenários possíveis de pausa. Por exemplo, a área que tenha uma capacidade maior, tem possibilidade de parar durante a pausa, acumulando um pouco de produto, e na sequência do retorno após pausa, pode-se usar desta capacidade a mais, em relação ao processo anterior para processar a quantidade acumulada durante a pausa. Na tabela 15 estão disponíveis as capacidades por área em número de suínos por hora, onde é possível observar que área de cortes e embalagem tem 15% a mais de capacidade em relação as áreas de recebimento/abate. Esta diferença de capacidade pode gerar uma estratégia de trabalho onde não seria necessário render a pausa em todas as áreas, podendo parar e depois processar o acúmulo de produto.

Tabela 15: Capacidade por área

Área	Capacidade -suínos /hora
Recebimento	420
Abate suínos	420
Esposteamento	480
Embalagem	480

Fonte: Do Autor (2015)

- Tempo das pausas

Nas áreas onde for decidido que vão haver pausas, estas serão de 20 minutos, ao invés de 15 minutos (que são as duas opções cogitadas). Esta premissa é um consenso entre as áreas fabril e de segurança, pois permite um descanso mais pleno aos colaboradores e que também gera menos set-up-paradas) na linha de produção. Sempre que há uma parada coletiva em uma linha de produção, ocorre o que se chama de inércia de startup, onde há uma perda de tempo até que todos os equipamentos e pessoas nos postos operativos retomem seu ritmo normal, e a perda de produção acaba sendo maior que o tempo previsto de parada (neste caso, 20 minutos). Portanto se as paradas forem de 15 minutos, haverá uma perda de produção maior.

- Número mínimo de postos a ser substituído por cada colaborador

Se for decidido que o colaborador que vai fazer a substituição na pausa for fazer mais de um posto de trabalho, serão no mínimo 3 postos. Ou seja, este deve ter habilidade em pelo menos 3 postos específicos. Esta premissa tem o objetivo de não aumentar muito o número de colaboradores a mais, para se fazer a substituição no período de pausas.

- Necessidade de mão de obra para substituir pausas, determinadas também por gênero (masculino ou feminino)

Em função da força física necessária em determinadas tarefas, será considerado se será necessário colaborador homem ou mulher.

Com base nessas premissas foram estabelecidos os cenários, conforme tabela 16, que foram serem testados no modelo para se avaliar o melhor custo benefício de acordo com a necessidade atual da planta.

Tabela 16: Cenários a serem simulados no modelo construído

<b>Cenários</b>	<b>Descrição</b>
<b>0</b>	Sem equipe para render, para-se toda a fábrica nas 3 pausas
<b>1</b>	Equipe para render 1 pausa por turno de 20 min em todas as áreas. Em 2 pausas por turno para-se toda a fábrica.
<b>2</b>	Equipe para render 2 pausas por turno de 20 min em todas áreas. Em 1 pausa para-se toda a fábrica.
<b>3</b>	Equipe para render 3 pausas de 20 min por turno em todas as áreas
<b>4</b>	Equipe para render 2 pausas apenas no abate e na área de cortes, para-se toda a linha e aumenta-se a velocidade para 480 suínos/hora após as pausas para consumir estoque acumulado.

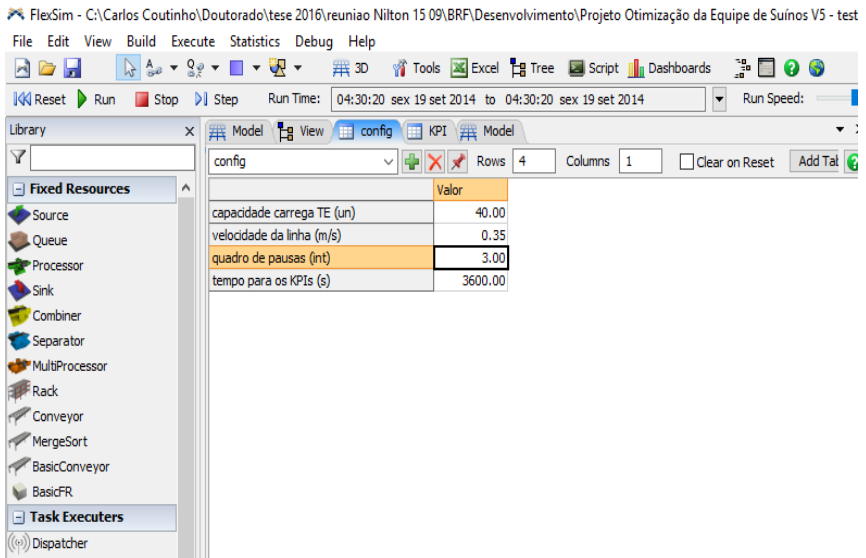
Fonte: Do Autor (2016)

Existe um roteiro lógico utilizado para gerar os cenários e avaliar os resultados:

- a) Fixa-se o número de pausas que serão feitas e o horário dentro do turno. Isso passa a ser uma variável de entrada para gerar o cenário;
- b) Determina-se quais serão os postos de trabalhos que vão efetuar a parada;
- c) O modelo inicia a produção, contabilizando as entradas e saídas de produto segundo a segundo por posto operativo;
- d) Durante a pausa, o programa contabiliza qual a quantidade potencial de produto que acumula em cada posto operativo, supondo que o colaborador vai parar para a pausa e continuar chegando produto.
- e) Com base nesta quantidade potencial acumulada, e no tempo unitário para realizar a tarefa, que o programa tem registrado em seu banco de dados (dados fornecidos na primeira fase da construção do modelo) é calculado quantos minutos são necessários para processar aquela quantidade acumulada;
- f) Com base nestas quantidades acumuladas, posto a posto, o programa dimensiona quantos postos um novo operador que tem a função de substituir aquele em pausa, consegue substituir, dentro do intervalo entre pausas. Considerando –se o turno de 8,8 horas, e 3 intervalos de 20 minutos, o tempo médio entre intervalos seria em torno de 2 horas, sendo que esse é o tempo que o colaborador teria para render as pausas, até iniciar um novo ciclo de pausa;
- g) É feito toda essa modelagem, citada no item anterior, para cada posto a ser substituído na pausa e desta forma consolida-se o dimensionamento total de colaboradores necessários para substituição na pausa, de acordo com cada cenário.

A figura 17 mostra a tela do programa, onde se especifica quantas pausas serão simuladas no turno, e a partir desta variável de entrada o programa executa e simula todo o roteiro lógico descrito acima.

Figura 17: Tela de entrada para simular cenários de pausa



Fonte: Programa Flex Sim® (2015)

#### 4.4.1 Resultados cenários – dimensionamento pausas

Os 5 cenários planejados pela equipe, na tabela 16, foram simulados no modelo da planta. Cada um deles gerou uma saída de variação de volume e de demanda de mão de obra extra para cobrir as pausas. A Tabela 17 mostra um resumo do resultado dos cenários simulados. Conforme descrito antes, o melhor cenário a ser adotado, depende da necessidade atual e futura da linha de produção. Por exemplo, se há um cenário de demanda reduzida de pelo menos 15% em relação a capacidade total, a princípio o cenário mais favorável é o cenário 0, e teoricamente o mais simples de ser implementado, pois não necessita de contratação extra e também de treinamento em múltiplas tarefas.

Tabela 17: Resultados por cenário

<b>Cenários</b>	<b>Descrição</b>	<b>Equipe Extra</b>	<b>Redução Volume</b>
<b>0</b>	Sem equipe para render, para-se toda a fábrica nas 3 pausas	0	-13,86%
<b>1</b>	Equipe para render 1 pausa por turno de 20 min em todas as áreas. Em 2 pausas por turno para-se toda a fábrica.	69	-10,46%
<b>2</b>	Equipe para render 2 pausas por turno de 20 min em todas áreas. Em 1 pausa para-se toda a fábrica.	80	-8,33%
<b>3</b>	Equipe para render 3 pausas de 20 min por turno em todas as áreas	119	0%
<b>4</b>	Equipe para render 2 pausas apenas no abate e na área de cortes, para-se toda a linha e aumenta-se a velocidade para 480 suínos/hora após as pausas para consumir estoque acumulado.	28	-8,33%

Fonte: Do Autor (2016)

Se a demanda estiver alta ou demonstra estar em elevação, os cenários 1 a 4 devem ser avaliados. Deve-se destacar o cenário 4, que, em termos de volume, equivale ao cenário 2, mas leva em consideração a premissa de utilizar a folga de capacidade existente na área de cortes. A grande vantagem é o número menor de colaboradores extras; pois a folga de capacidade seria suficiente para absorver o acúmulo das duas pausas. Esse cenário deve ser avaliado com maior detalhamento; pois como supõe acúmulo momentâneo de carcaças, deve ser avaliado para verificar se há condições de estrutura para fazer tal acúmulo sem interferir em qualquer norma de segurança ou sanitária, como por exemplo, aumento acima do permitido da temperatura das carcaças, o que é rigidamente controlado pela inspeção sanitária.

Em resumo, a escolha do cenário ideal tem total relação com a ociosidade da planta em relação a demanda de produção atual. A tabela 18 foi desenvolvida para dar suporte ao gestor da planta em se tomar a decisão de escolha de cenário em função da taxa de ocupação.



Tabela 18: Escolha do melhor cenário de acordo com a demanda

Cenário	Descrição	Taxa de ocupação de capacidade recomendada (%)
0	Sem necessidade de operadores extras para intervalo. Mesmo que a fábrica pare nas pausas, é possível atender a demanda	Inferior a 85%
1	Necessidade de operadores extras por uma pausa por turno de 20 minutos em todas as áreas. Em duas pausas por turno, toda a linha é interrompida.	No intervalo 86 - 89%
2 ou 4	Operadores extras por duas pausas por turno de 20 minutos (o cenário 4 necessita de operadores extras apenas na área de abate). Em uma pausa por turno toda a linha é interrompida.	No intervalo 90 - 92%
3	Necessidade de operadores extras para três pausas de 20 minutos por turno	Acima de 92%

Fonte: Do Autor (2017)

#### 4.5 DISCUSSÃO, INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Revisitando o objetivo geral deste projeto de pesquisa que é desenvolver o estudo necessário no aprimoramento da determinação dos passos necessários para construção da modelagem e simulação e otimização para melhoria de produtividade de forma mais adequada para as especificidades do balanceamento de linhas de abates, considera-se que resultado de aplicação do modelo construído na planta de abate de suínos, obtendo-se uma melhoria de 11,89% no principal indicador de produtividade da planta, Homen-hora / ton, como resultado da modelagem porta a porta da planta estudado demonstra aderência ao objetivo do projeto. O procedimento de otimização do balanceamento do número de funcionários nos postos operativos, por meio de aumento da taxa de ocupação nos pontos identificados pelo modelo com alta taxa de ociosidade, considerando o tempo para se efetuar a tarefa em cada posto e o takt time da linha, entende-se como o diferencial determinante no

desenvolvimento do trabalho e do resultado de produtividade obtido. Desta forma, foi possível minimizar o risco de estrangulamentos, nivelando a ociosidade e reduzindo o número de funcionários necessários. A fase inicial de modelagem que gerou o estado atual da produção, funciona como um mapa de fluxo de valor, onde o modelo inicial construído, permite identificar oportunidades considerando o tempo atual de takt (BASU; DAN, 2014). A modelagem também aumentou a decisão de velocidade, visto que, sem o uso do modelo construído, o balanceamento das estações de trabalho teria a precisão reduzida e muito mais tempo seria gasto para concluir o projeto. Deve-se destacar a eficácia do programa em fazer esta contabilização de balanceamento de operadores de toda a planta, comparando com o caso de fazer este balanceamento de forma manual, sem utilização do programa. Nesta mesma planta onde foi feita a modelagem, há registro de ter sido feito uma tentativa no passado de se balancear uma parte da área de cortes (em torno de 50 pessoas), onde o cálculo final levou meses para ser feito e não se obteve conclusões consistentes para se atuar na retirada de postos

Outro resultado importante a ser considerado, foi a simulação, usando o modelo de fábrica construído, do número de pessoas necessárias para executar as pausas obrigatórias e o volume produzido, para cada um dos cinco cenários projetados, permitindo uma decisão segura na escolha do cenário que melhor se ajusta à demanda de produção do período. Este é um ponto importante, pois a exigência de pausa térmica prevista em lei (BRASIL, NR36,2013) é uma característica específica dos processos de abate de animais em frigorífico e desta forma deve ser avaliada e considerada como premissa no atendimento da produtividade devendo ser respeitado o critério exigido pelo ministério do trabalho para trabalhos em frigoríficos onde os colaboradores devem fazer pausa total de 60 com divisão mínima deste período em 3 vezes, para um turno de 8,8 horas de trabalho.

## 5 CONCLUSÃO

A contribuição significativa deste projeto de pesquisa foi a descrição detalhada das etapas necessárias para a modelagem e otimização de uma planta de abate de grande porte, demonstrando quais as variáveis importantes que devem ser consideradas durante a construção do modelo, com a abordagem de se avaliar e quantificar as oportunidades de incremento de produtividade e eficiência, partindo da modelagem inicial do processo em seu estado atual.

O resultado alcançado de produtividade na modelagem testada em planta de suínos de grande porte, equilibrando as estações de trabalho frente as taxas de ocupação de cada tarefa em relação ao takt time, mostrou grande potencial de aplicação para plantas de abate com características de fluxo similares. Para futuras aplicações em outras plantas de suínos, será necessário atualizar o modelo atual com os dados característicos de cada linha de produção (capacidades, layout, tempo de cada tarefa, número de funcionários), mas o conceito de usar a modelagem como o caminho para a otimização do processo foi demonstrado como aplicável para abates de animais, que tem grandes desafios como alta variabilidade no produto (o animal) e também alto índice de trabalho manual.

O trabalho de escolha e seleção do software é também um ponto importante a se destacar para futuros trabalhos, visto que o critério de escolha levou em consideração as características dos processos de abate, como por exemplo o importante papel do programa de modelagem em contribuir com uma análise de precisão crescente considerando uma distribuição específica para cada tempo de tarefa do operador, sendo um dos pontos mais importantes para este tipo de processo, que tem um grande número de colaboradores, onde cada um destes tem seu próprio ritmo de fazer a tarefa, e é muito importante para a confiabilidade do modelo o programa buscar funções matemáticas específicas para essas diferentes variabilidades ao invés de se usar valores médios.

Esses resultados citados confirmam a grande aplicação da modelagem de processos focada em plantas de abate de grande porte (mais de 800 funcionários) referentes à otimização da mão de obra empregada, com uma abrangência de número de postos operativos modelados, superior a trabalhos citados na revisão bibliográfica (FERNANDES, 2006; GONÇALVES, 2014; CANELLAS, 2014).

A simulação em plantas de grande escala, suportada por softwares robustos, como o que foi utilizado, confere a velocidade e

confiabilidade necessárias para se ter uma conclusão que avalia todo o processo produtivo, porta a porta, conectando as relações entre as áreas. É importante mencionar o resultado expressivo no aumento da produtividade, o que foi possível com a redução de 8% do tempo total de horas trabalhadas para produzir o mesmo volume, ao executar a otimização da taxa de ocupação nos postos operativos. Considerando que, nesse tipo de negócio, o custo de mão de obra representa 80% do custo indireto total do processo, a redução do custo do trabalho alcançado no projeto contribuiu para diminuir o custo indireto total em quase 6%, e como o produto é uma commodity (carne in natura), esta redução se torna um diferencial competitivo.

E, finalmente, todo o trabalho baseou-se nos principais princípios de Lean Manufacturing, como otimização dos recursos de mão de obra, de acordo com o tempo takt (JASTI; SHARMA, 2014), demonstrando a grande abrangência de aplicação e efetividade da filosofia. Mas devido ao tamanho e complexidade do processo avaliado, a modelagem e simulação foi decisiva para se conseguir obter a visão global de otimização da planta, gerando a confiabilidade necessária para se tomar a decisão de retirada dos postos a mais que foram identificados como oportunidade para redução de custo.

## REFERÊNCIAS

- BANKS, J. **Selecting simulation software. Proceedings of the winter simulation conference.** p. 15-20, 1991.
- BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B. **Discrete-event system simulation.** New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- BANKS, J.; CARSON II, J.S.; NELSON, B.L.; NICOL, D.M. (2005), *Discrete - Event system simulation*. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, p. 608.
- BASU, P.; DAN, P. “Capacity augmentation with VSM methodology for lean manufacturing”. **International Journal of Lean Six Sigma**, Vol. 5, nº 3, p.279-292, 2014.
- BHAMU, J.; SINGH, S. Lean manufacturing: literature review and research issues. International. **Journal of Operations & Production Management**, Vol. 34, nº 7, p. 876-940, 2014.
- BIMAN, D; SANCHEZ-RIVAS, M.J.; DIAZ G.A.; MACDONALD, A.C. A computer simulation approach to evaluating assembly line balancing with variable operation times. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 21 n. 7, p.872-887, 2010.
- BOIKO; T.J.P.; TOIGO, J.A. & VAROLO, F.W.R. *Balanceamento de linha no setor de cortes de asas de um frigorífico de frangos localizado no Paraná.* In: XVIII Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP), 18, 2011, Bauru – SP. Anais... Bauru: 2011.
- BRASIL. **Portaria nº 711**, de 01 de nov de 1995. DOU p. 17625. Ministério da agricultura, do abastecimento e da reforma agrária.
- BRASIL. **NR 36**, de 19 de abr de 2013. Segurança e saúde no trabalho em empresas de abate e processamento de carnes e derivados. Ministério do Trabalho do Brasil.
- CALLEL, M. Understanding the importance of reducing pig weight variability. *International Pig Topics*. Vol 30, n. 8, p. 28-30, 2016.

CANELLAS, L.C. **Modelagem e simulação para análise de Sistema de recria-terminação de bovinos de corte.** Tese de Doutorado Faculdade de Agronomia, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. 2014.

CETESB. **Guia Técnico Ambiental de Abate (Bovino e Suíno) 2006 - SÉRIE P+L;** CETESB - Companhia de Tecnologia de saneamento ambiental. 2006.

CHW IF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria & prática.** 2. ed. São Paulo: Ed dos Autores, 2006

COPPETI, A.F.; SAURIN, A.T.; SOLIMAN, M. Gestão de barreiras na implantação da produção enxuta: Um estudo na indústria automobilística. **Revista produção on line.** 2016. ISSN1676-1901

DA SILVA, C.E.S.; SALGADO, E.G.; MELLO, C.H.P.; DA SILVA O.E.; LEAL, F. Integration of computer simulation in design for manufacturing and assembly. **International Journal of Production Research,** vol. 52, nº. 10, p. 2851-2856,2014.

EHRlich, B.H. **Transactional Six Sigma and Lean Servicing,** St. Lucie Press, Boca Raton, FL. 2002. Leveraging manufacturing concepts to achieve world-class service. Boca Raton: CRC Press LLC. 2002.

FALCONI, V. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia.** 9. ed. Campos: Editora Campos, 2014.

FERNANDES, A.C. **Simulação da dinâmica operacional de uma linha industrial de abate de suínos.** Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Universidade Estadual Do Oeste do Paraná. 2006.

FILHO, F.J.P. **Introdução a simulação de sistemas com aplicação em Arena.** São Paulo: Visual Books, 2008.

FLEX SIM. **Simulação aplicada:** modelagem e análise usando o Flex Sim. (Manual Capítulo 6). 2014.

GARBIE, H.I. A methodology for the reconfiguration process in manufacturing systems. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Vol. 25, nº 6, p. 891-915, 2014.

GERWIN, D. An agenda for research on the flexibility of manufacturing processes. International. **Journal of Operations and Production Management**, vol. 25, nº 12, p. 1171-1182, 2005.

GONÇALVES, VA. **Simulação da dinâmica operacional na linha de esartejamento de um abate de suínos**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 2014.

GREASLEY, A. The case for the organizational use of simulation. **Journal of Manufacturing Technology Management**, vol. 15, nº 7, p. 560-566, 2004.

HARREL, C.R.; MOTT, J.R.A; BATEMAN, R.E.; BOWDEN, R.G.; GOGG, T.J. **Simulação: otimizando os sistemas**. 2. ed. São Paulo: IMAM, 2002.

HLUPIC, V.; MANN, A.S. SimSelect: a System for Simulation Software Selection. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, p. 720-727, 1995.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores IBGE quarto trimestre de 2015**. Brasília: IBGE, 2016.

JASTI, K.V.N.; SHARMA, A. "Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool: A case study from auto components industry", **International Journal of Lean Six Sigma**, Vol. 5, nº 1, p.89-116, 2014.

KALAYCI, B.C., GUPTA, M.S. Ant colony optimization for sequence-dependent disassembly line balancing problem, **Journal of Manufacturing Technology Management**. Vol. 24, nº 3, p.413-427, 2013.

KUMAR, S.; PHROMMATHED, P. Improving a manufacturing process by mapping and simulation of critical operations. **Journal of**

**Manufacturing Technology Management**, vol. 17, n°. 1, p.104-132, 2006.

LAW, A.M.; KELTON, W.D. **Simulation modeling & analysis**. Mc Graw Hill international editions, 1999.

LIKER.J. **The Toyota Way**. McGraw Hill Professional, 2004.

LUERSEN, T. Rearranjo de Recursos com o auxílio de Simulação Computacional. Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2011.

MISTEREK, D.A.S.; DOOLEY, J.; ANDERSON C.J. Productivity as a Performance Measure. **International Journal of Operations & Production Management**, vol. 12, n°. 1, p.29-45, 1992.

MOR, S.R; SINGH, S.; BHARDWAJ, A. Learning on Lean Production: A Review of Opinion and Research within Environmental Constraints. **Operations and supply chain management**, vol. 9, n°. 1, p. 61-72, 2016.

MOREIRA, D.A. *Administração da Produção e Operações*. 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

NETTO, V.A.; TAHARA, S. C.; PORTO, V.J.A.; FILHO, V. G. E. Realidade virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento, simulação e desenvolvimento de produto. *Revista Gestão & Produção*, vol.5, n°.2, p. 104-116, 1998.

NEUMANN, W.P; DULL, J. Human factors: spanning the gap between OM and HRM. **International Journal of Operations & Production Management**, vol. 30 n°. 9, p. 923-950, 2010.

NKASU, M.M.; LEUNG, K.H. “A stochastic approach to assembly line balancing”, **International Journal of Production Research**, Vol. 33, n°. 4, p. 975-91, 1995.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bokmann, 1997.



OR/MS TODAY, **Simulation Software Survey, 2013**;  
<https://www.informs.org/>

PEGDEN, C.D.; SHANNON, R.E; SADOWSKI, R.P. **Introduction to Simulation Using SIMAN**. New York: McGraw-Hill, 1990. v. 2.

PEREIRA, C.R.; DA COSTA, M.A.B. Um modelo de simulação de sistemas aplicado a programação da produção de um frigorífico de peixe. **Revista científica eletrônica de engenharia de produção**, Produção online. Vol. 12, nº.4, 2012.

PETEROS, R.G.; MALEYEEF, J. (2015), "Using Lean Six Sigma to improve investment behavior". *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 6 Issue: 1, pp.59-72.

PIDD, M. **Computer Simulation in Management Sciences**. John Wiley and Sons, Chichester, 5th edition, 2004.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando fluxo contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

ROTONDARO, R G. **Seis Sigma - estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002

SAKURADA, N.; MIYAKE, I.D. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. *Revista Gestão Produção*, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 25-43, jan.-mar. 2009.

SCHOLL, A.; BECKER, C. State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. **European Journal of Operational Research**, vol.163, nº.3, p. 666-93, 2006.

SETIJONO, D.; NARAGHI, M.A.; RAVIPATI, P.U. "Decision support system and the adoption of lean in a Swedish emergency ward: Balancing supply and demand towards improved value stream", **International Journal of Lean Six Sigma**, Vol. 1, nº. 3, p.234-248, 2010.

SHAABAN, S.; MCNAMARA, T.; HUDSON, S. (2013). The effects of unbalancing operation time variability on the performance of unreliable lines. **Journal of Manufacturing Technology Management**, vol. 24, n° 3, p. 428-447, 2013.

SHAH, R., WARD, P. T. Lean manufacturing context, practice bundles, and performance. **Journal of Operations Management**, vol. 21, p.129-149, 2003.

SHANNON, R. E. **Systems Simulation: The Art and the Science**. New Jersey: Prentice-Hall, 1975.

SINGH, B.; GARG, S.K.; SHARMA, S.K; GREWAL, C. "Lean implementation and its benefits to production industry", **International Journal of Lean Six Sigma**, Vol. 1, n° 2, p.157-168, 2010.

SOUZA, A.A.T.; CARVALHO, R.E.; MELO, S.C.A; NUNES, L.R.D.; Simulação e lean thinking como ferramentas para gestão de processos: uma avaliação de diferentes alternativas ao aumento da capacidade em uma empresa de cabos elétricos de alumínio. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 9, n° 4, p. 125-138, out-dez/2014.

STANDRIDGE, C.R.; MARVEL, J.H. (2006) Why Lean Needs Simulation. In: Winter Simulation Conference, Piscataway, **Anais Piscataway**, Institute of Electrical and Electronics Engineers, p. 1907-1913, 2006.

THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-ação**. 14. ed. São Paulo: Cortez, 2005.

TORGA, B.L.M. **Modelagem, simulação e otimização em sistemas puxados de manufatura**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, Brasil. 2007.

TUBINO, D.F. *Planejamento e Controle da Produção*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2009. 190 p.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

WERKEMA, C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Campus, 2012.

WINSTON, W. L. **Operations research: applications and algorithms**. 3 ed. California: Duxbury Press, 1993

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROSS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WOMACK, JP; JONES, DT. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e gere riqueza**. Rio de Janeiro: Campus, 1996.