



Trabalho de Conclusão de Curso

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE RECURSOS DO PROCESSO DE EMBALAGEM DE FIO-MÁQUINA ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

VICTOR LUCAS DE SOUSA

**João Monlevade
Julho, 2019**

VICTOR LUCAS DE SOUSA

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE RECURSOS DO PROCESSO DE
EMBALAGEM DE FIO-MÁQUINA ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO DE
EVENTOS DISCRETOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte dos requisitos
para obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia de Produção pela
Universidade Federal de Ouro Preto

Orientadora: Prof. Isabela Carvalho de
Morais

**João Monlevade
Julho, 2019**

S725a

Sousa, Victor Lucas.

Análise da utilização de recursos do processo de embalagem de fio-máquina através da simulação de eventos discretos. [manuscrito] / Victor Lucas Sousa. - 2019.

40f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientadora: Prof^a. MSc^a. Isabela Carvalho Morais.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Simulação. 2. Processos - modelagem. 3. Pesquisa Operacional. I. Morais, Isabela Carvalho. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 519.8



ATA DE DEFESA

Aos 11 dias do mês de Julho de 2019, às 14 horas, na sala H203 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pelo aluno Victor Lucas de Sousa, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Thiago Augusto de Oliveira Silva e Alexandre Xavier Martins.

O aluno apresentou o trabalho intitulado: Análise da utilização de recursos do processo de embalagem de fio-máquina através da simulação de eventos discretos.

A comissão examinadora deliberou, pela:

☒ Aprovação

☐ Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções:

☐ Reprovação com Ressalva - Prazo para marcação da nova banca:

☐ Reprovação

do(a) aluno(a), com a nota 10,0. Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP 04/2017 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo aluno.

João Monlevade, 11 de Julho de 2019.

Professora Orientadora – Isabela Carvalho de Moraes

Prof. Thiago Augusto de Oliveira Silva

Prof. Alexandre Xavier Martins

Aluno – Victor Lucas de Sousa

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por me manter firme e focado durante todo a jornada universitária até a finalização deste trabalho.

À minha mãe, Rosemary, meu exemplo de caráter e a pessoa mais guerreira que já tive a oportunidade de conviver nessa vida! Se não fosse pela senhora nada disso teria acontecido.

Agradeço ao destino por ter me dado a oportunidade de ter feito grandes amigos dentro da UFOP.

Agradeço à minha orientadora, Isabela Moraes, que sempre esteve presente com grandes conselhos e ótimas ideias durante a execução deste trabalho.

À ArcelorMittal Monlevade, em especial à gerência do departamento de Logística e Planejamento de Produção pela grande oportunidade que me foi oferecida em provar e aplicar um pouco do meu conhecimento adquirido na graduação.

À Universidade Federal de Ouro Preto, professores e funcionários que foram fundamentais durante toda minha graduação.

Resumo

A redução de desperdícios, sejam eles de qualquer natureza, trazem para as empresas menos custos e mais eficiência produtiva, tornando-as mais competitivas. No setor siderúrgico, um dos principais desperdícios que ocorrem diariamente é a subutilização de equipamentos e mão-de-obra nas plantas produtivas. Entretanto, o lado oposto ao desperdício desses elementos é a sobrecarga dos mesmos. Sobrecarregar um equipamento ou um colaborador em um processo pode gerar muitos problemas, como limitação da produção, acidentes de trabalho, defeitos de fabricação, deterioração precoce dos equipamentos, dentre outros. Neste sentido, o trabalho que se segue é direcionado a analisar, desta perspectiva, o cenário do processo de embalagem de fio-máquina de uma siderúrgica, com o intuito de encontrar os gargalos desse processo e também os recursos subutilizados, para então propor cenários de melhorias com base em modelos de simulação de eventos discretos. Para isso, foi efetuada uma coleta de dados históricos de desempenho do processo, levantando as principais variáveis do processo e todos os elementos que fazem parte desse sistema. Dessa forma, pôde-se elaborar um modelo conceitual do processo e, a partir desse modelo, foi desenvolvido o modelo de simulação computacional, que após ser estatisticamente validado, forneceu os dados de desempenho do processo atual e também dos cenários propostos. Ao final, foi possível verificar que há elementos sobrecarregados no sistema e também elementos subutilizados. Ao serem trabalhados nos cenários propostos, houve satisfatória melhoria nesses gargalos, mostrando que a proposta do trabalho foi capaz de produzir bons resultados para este processo, caso a empresa opte por implementar algum dos cenários propostos.

Abstract

The reduction of waste, be they of any nature, bring to companies less costs and more productive efficiency, making them more competitive. In the steel sector, one of the main wastes that occur daily is the underutilization of equipment and manpower in the productive plants. However, the opposite side to the waste of these elements is the overloading of them. Overloading an equipment or a collaborator in a process can generate many problems, such as production limitation, work accidents, manufacturing defects, early deterioration of equipment, among others. In this sense, the work that follows is aimed at analyzing, from this perspective, the scenario of the wire rod packaging process of a steel mill, in order to find the bottlenecks of this process as well as the underutilized resources, in order to propose scenarios of improvements based on discrete event simulation models. For this, a historical data collection of process performance was carried out, raising the main variables of the process and all the elements that are part of this system. In this way, a conceptual model of the process could be elaborated and, from this model, the computer simulation model was developed, which after being statistically validated, provided the performance data of the current process and also of the proposed scenarios. At the end, it was possible to verify that there are overloaded elements in the system as well as underutilized elements. When working on the proposed scenarios, there was a satisfactory improvement in these bottlenecks, showing that the work proposal was able to produce good results for this process, if the company chooses to implement some of the proposed scenarios.

Lista de Figuras

Figura 1: Estrutura lógica da abordagem quantitativa	16
Figura 2: Fases da realização de uma simulação	17
Figura 3: Etapas da realização do estudo	18
Figura 4: Layout completo do galpão de armazenagem	19
Figura 5: Layout do modelo de simulação.....	23
Figura 6: Análise da normalidade dos dados	27
Figura 7: Características do tempo de ciclo	27
Figura 8: Ajuste do tempo de ciclo à distribuição Beta.....	27
Figura 9: Distribuição de frequências da quantidade de rolos embalados historicamente	29
Figura 10: Distribuição de frequências da quantidade de rolos embalados pelas réplicas do modelo simulado	30
Figura 11: Teste de hipótese de uma média para o desempenho do modelo proposto	30
Figura 12: Modelo de Simulação utilizado no modelo original e no Cenário 1	40
Figura 13: Modelo de Simulação utilizado nos Cenários 2 e 3.....	40

Lista de Tabelas

Tabela 1: Detalhamento dos dados do processo e forma de coleta.....	22
Tabela 2: Limitações versão estudante Arena®.....	23
Tabela 3: Elementos do processo e metodologia de coleta.....	24
Tabela 4: Bobinas a embalar em percentual.....	25
Tabela 5: Bobinas embaladas em percentual.....	25
Tabela 6: Taxas de utilização dos recursos do modelo original	32
Tabela 7: Taxas de utilização dos recursos no Cenário 1	33
Tabela 8: Taxas de utilização dos recursos no Cenário 2	34
Tabela 9: Taxas de utilização dos recursos na combinação dos Cenários 1 e 2	35
Tabela 10: Resumo dos relatórios de todos os modelos	36

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	10
1.1.1	Objetivo Geral	10
1.1.2	Objetivos Específicos	10
1.1.3	Justificativa e relevância do trabalho	10
1.2	Organização do trabalho.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Simulação	12
2.1.1	Vantagens e desvantagens ao uso da simulação	12
2.1.2	Modelagem no software Arena®	13
3	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	15
3.1	Delineamento da Pesquisa.....	15
3.2	Descrição do processo real	18
3.3	Formulação do modelo conceitual e metodologia para coleta de dados	
	20	
3.3.1	Modelo conceitual	21
3.3.2	Coleta de dados	21
3.4	O modelo de simulação proposto	22
4	ANÁLISE DOS DADOS.....	25
4.1	Validação do modelo	28
5	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	32
5.1	Gargalos do processo	32
5.2	Cenários alternativos.....	33
5.2.1	Cenário 1: redução de empilhadeiras	33
5.2.2	Cenário 2: reorganização dos postos de trabalho	34
5.2.3	Cenário 3: combinação de Cenários 1 e 2.....	35
6	CONCLUSÕES	36

1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da produção em massa até os dias atuais muita coisa mudou dentro e fora das organizações. As empresas passaram a competir em âmbito internacional em quase todos os setores, os recursos foram se tornando cada vez mais escassos e disputados, a tecnologia computacional evoluiu de forma exponencial e com ela novos métodos de produção surgiram e antigos modelos foram aperfeiçoados (MAXIMIANO, 2004).

No que tange aos métodos de produção, Womack (2004) discorre a respeito dos desperdícios que estão presentes em quase todas as formas de se produzir e que, por consequência, diminuem a eficiência de uma empresa. Alguns tipos de desperdícios colocados pelo autor são: erros que exigem retificação, produção de itens que ninguém deseja, acúmulo de mercadorias em estoques, etapas de processamento que não são necessárias e subutilização de recursos tais como, máquinas, equipamentos e mão-de-obra (WOMACK, 2004).

Por isso, muitas empresas estão cientes desses tipos de desperdícios, como por exemplo a empresa em estudo neste trabalho, e investem em formas de reduzi-los ao máximo, seja através do uso de sistemas que monitoram o desempenho dos processos mais importantes e auxiliam na tomada de decisão ou ainda por meio da contratação de profissionais ou entidades especializadas em gestão e otimização de processos que utilizam de técnicas, como, por exemplo, a simulação e a modelagem computacional de sistemas reais. Prado (2004) descreve dois principais motivos pelos quais a simulação de eventos discretos vem sendo bastante utilizada: (1) para evitar a paralização ou mobilização total/parcial do processo, visto que não interfere diretamente no mesmo; e (2) para reduzir o custo devido ao risco de efetuar mudanças indevidas ou desnecessárias no processo.

No ramo siderúrgico, em específico, Bagagi (2018) demonstra o quão competitivo é este mercado tanto para as empresas brasileiras quanto para as multinacionais que aqui atuam, exigindo um alto nível de excelência operacional para que a empresa possa seguir competitiva a nível nacional e internacional. Por esse motivo, torna-se importante para uma empresa desse setor ter um olhar atento para a redução dos desperdícios nos seus mais diversos processos que ocorrem

diariamente em suas plantas produtivas a fim de buscar sempre melhorar sua condição operacional.

A partir dessa realidade, nesse trabalho, será apresentado um modelo de simulação computacional para o processo de embalagem de fio-máquina de uma siderúrgica, com o intuito de entender um problema apresentado pela empresa e propor cenários com melhor desempenho, voltado à quantidade de bobinas embaladas em um turno de trabalho e também em função da melhoria da utilização de recursos necessários ao processo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Entender um problema real e simular, através do software Arena®, um dos processos de embalagem de fio-máquina de uma siderúrgica multinacional, de forma a propor cenários que estatisticamente apresentem melhor desempenho e utilização de recursos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desenvolvidos nesse trabalho foram:

- ✓ Definição do problema: compreender o processo, bem como as variáveis e elementos que fazem parte dele;
- ✓ Coletar, de forma sistemática, os dados fundamentais para a realização do estudo e o desenvolvimento de modelos de simulação;
- ✓ Analisar os tempos de realização das atividades durante os processos reais envolvidos;
- ✓ Construir o modelo computacional que se adeque à situação real;
- ✓ Identificar os gargalos do processo.

1.1.3 Justificativa e relevância do trabalho

O processo de embalagem de fio-máquina é um dos processos com alto grau de importância para a organização, pois é a última etapa na qual o produto é manufaturado dentro da empresa para então seguir para os clientes. Além disso, este processo está diretamente relacionado com a capacidade e tempo de entrega da empresa para os clientes das bobinas que necessitam de embalagem, uma vez que,

com um processo mais eficiente a empresa conseguirá atender uma demanda maior destes clientes em um tempo menor, sem sobrecarregar nenhum dos recursos deste processo.

Por isso, com as análises propostas neste estudo será possível compreender melhor como as variáveis que impactam o processo de embalagem de fio-máquina desta empresa se relacionam. Possibilitando que a empresa tome melhores decisões quanto a este processo, optando por cenários com maior produtividade e utilização de recursos em função dos modelos de simulação propostos.

1.2 Organização do trabalho

O trabalho está organizado em seis capítulos, tendo cada um deles os seguintes objetivos principais:

- 1º Capítulo: introduzir os aspectos e funcionalidades da simulação, aplicados a processos industriais, demonstrando, de forma sucinta e clara, os objetivos que se espera alcançar com este trabalho e também a justificativa que valida este estudo;
- 2º Capítulo: trazer a fundamentação teórica necessária à realização do estudo;
- 3º Capítulo: expor a metodologia utilizada; enquadrar o trabalho nos métodos de pesquisa científica e explicitar o processo de levantamento dos dados;
- 4º Capítulo: fazer a análise dos dados, fundamentar a construção e validação do modelo;
- 5º Capítulo: apresentar os gargalos do processo através dos relatórios de performance do Arena®; propor cenários visando melhorar o uso dos recursos e/ou obter melhor desempenho no processo;
- 6º Capítulo: discorrer a respeito das conclusões observadas a partir dos resultados obtidos, demonstrar as limitações do trabalho e possibilidades de melhorias para análises futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Simulação

A palavra simular encontra diversos significados, entretanto, pode-se dizer de forma genérica que o termo simular é o ato de representar com semelhança um determinado evento (PRADO, 2004). Dentro da pesquisa operacional, o termo simular representa o fruto de uma área de pesquisa denominada como simulação, sendo que este campo se distingue em duas vertentes mais abrangentes, a simulação de eventos discretos e a simulação de eventos contínuos.

Para Sakurada e Miyake (2009, p.26):

A simulação de eventos discretos abrange o estudo de modelos de simulação cujas variáveis mudam de estado instantaneamente em pontos específicos de tempo, em contraste ao que ocorre com modelos contínuos, cujas variáveis podem mudar de estado continuamente no decorrer do tempo.

Taha (2008, p.272) destaca a simulação como sendo “o segundo melhor procedimento depois da observação de um sistema real”. Pois trata-se de uma imitação computadorizada de um sistema, real ou hipotético, e de seu comportamento aleatório, no intuito de estimar suas medidas de desempenho.

Apesar de ser um procedimento reconhecidamente eficiente pela literatura, as ferramentas e técnicas desse campo de conhecimento só se tornaram amplamente difundidas e utilizadas após o avanço da tecnologia dos computadores. O motivo dessa restrição é a quantidade de cálculos inerentes aos modelos mais realistas para que se possa tomar decisões com alto índice de confiança (PRADO, 2004).

De forma geral, verifica-se que a simulação de processos é, de acordo com Loesch e Hein (2009, p.206), “essencialmente uma técnica que envolve a construção de um modelo de uma situação real para sua posterior experimentação” ou ainda, segundo Prado (2004, p.95) “simulação é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”.

2.1.1 *Vantagens e desvantagens ao uso da simulação*

Ao utilizar das técnicas de simulação, deve-se ter em mente que a mesma possui suas vantagens e desvantagens que devem ser ponderadas ao se escolher

por este caminho para a modelagem e tomada de decisão a respeito dos mais diversos processos que se tenha interesse em analisar.

Alguns autores, tais como Prado (2004), Andrade (2002) e Freitas (2001) descrevem as principais vantagens do uso da simulação, bem como suas desvantagens. Dentre as principais vantagens, podem ser observadas:

- Possibilidade em estudar e modificar um processo real sem a necessidade de interferir no mesmo;
- Possibilidade de analisar um processo antes mesmo que este se torne real;
- Possibilidade de efetuar experimentações complexas e acompanhar o desenvolvimento do experimento de forma, muitas vezes, visual;
- Possibilidade de efetuar pequenas modificações e observar o impacto no processo como um todo;
- A simulação de sistemas complexos pode fornecer valiosa percepção do processo, no sentido de descobrir as variáveis mais importantes do sistema e a maneira como elas interagem;
- Muito útil como ferramenta de testes para processos futuros;
- Redução de custos com modificações ineficientes nos sistemas reais.

Dentre as desvantagens levantadas por estes mesmos autores, pode-se citar:

- A simplificação demasiada dos modelos pode gerar resultados inconsistentes;
- Quanto maior for o nível de complexidade do modelo e do sistema real, maior deverá ser a expertise das pessoas envolvidas no processo de elaboração da simulação;
- A má leitura do processo real ou hipotético poderá ocasionar resultados divergentes dos observados no sistema;
- Exige-se conhecimento técnico no uso dos softwares de simulação que são utilizados para a construção dos modelos e análises dos resultados.

2.1.2 Modelagem no software Arena®

Lançado em 1993 pela empresa americana Systems Modeling, o Arena® é um software que sucede dois outros produtos dessa mesma empresa, o SIMAN lançado em 1961 que foi o primeiro software para simulação para computadores pessoais e o

CINEMA que foi o primeiro software de animação também para computadores (PRADO, 1999).

Para Prado (1999), o Arena® torna fácil a utilização de seus recursos para a construção dos modelos pois possui interface gráfica voltada ao usuário. Sendo muitas vezes, o mouse o hardware mais utilizado durante a modelagem, tornando intuitivo o processo de modelagem dos sistemas e não necessitando de conhecimento prévio em nenhuma linguagem de programação ou técnicas complexas de pesquisa operacional por parte do projetista. O software ainda vem composto com outras ferramentas bastante úteis aos usuários (PRADO, 1999), podendo destacar como as principais:

- Analisador de dados de entrada (*Input Analyser*);
- Analisador de resultados (*Output Analyser*);
- Visualizador da simulação (*Arena Viewer*);
- Execução em lotes (*Scenario Manager*).

No que tange a lógica de programação e funcionamento do software, Prado (1999) diz que o Arena® enxerga o sistema como um conjunto de postos de trabalho, entidades, variáveis aleatórias e suas distribuições probabilísticas, filas e o fluxo na qual estes elementos interagem gerando então relatórios de performance para cada elemento especificado no modelo e conforme o interesse do pesquisador, auxiliando assim na tomada de decisão.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Segundo Martins (2012), para a realização de determinada pesquisa científica, deve-se primeiramente definir de forma clara o problema a ser abordado para, então, buscar ou desenvolver algum modelo ou metodologia que ajuste ao problema de forma adequada ou que o resolva. Para tanto, existem as técnicas de metodologia de pesquisa e para cada problemática é indicado certo conjunto dessas técnicas que auxiliam no entendimento da situação a ser estudada da melhor forma (CERVO e BERVIAN, 2002).

3.1 Delineamento da Pesquisa

Destacam-se como características importantes da pesquisa quantitativa, segundo Martins (2012), o ato de tratar o problema através de variáveis quantificáveis e a minimização da subjetividade do estudo, por parte da não interferência do pesquisador nos elementos do fenômeno a ser pesquisado. Para Lakatos e Marconi (1991), o enfoque quantitativo tem fundamentação no método hipotético-dedutivo e leva em consideração três principais pontos a serem respondidos, total ou parcialmente, com base nos dados quantificados durante o estudo. Os três pontos, segundo os autores, são:

- a) Estabelecer teorias e levantar hipóteses;
- b) Comprovar as hipóteses;
- c) Aceitar ou refutar as mesmas.

Após observar, de maneira sintetizada, algumas das características da pesquisa quantitativa, pode-se obter uma primeira classificação para o trabalho. Ou seja, é prudente dizer, então, que o trabalho possui o viés quantitativo. Uma vez que as características desse método estão de acordo com a proposta do trabalho que é analisar um determinado processo de uma empresa siderúrgica, com base em algumas das variáveis do processo, afim de propor hipóteses que serão confirmadas ou não através de testes e comparações estatísticas realizadas através do modelo de simulação.

De forma mais específica, Morabito e Pureza (2012) propõem, no contexto da gestão de produção e operações, dois tipos de pesquisas baseadas na modelagem quantitativa, a pesquisa axiomática e a pesquisa empírica. Sendo que cada uma delas

possui duas abordagens com enfoques diferentes: o normativo, com foco em melhorar os resultados ou modelos já disponíveis; e o descritivo, que busca a compreensão das características do sistema ou modelo estudado.

Para eles, a pesquisa axiomática, é dirigida a problemas idealizados, ou seja, o foco é em compreender e analisar o modelo com base nos seus próprios elementos e soluções. Já a pesquisa empírica tem como foco principal a adequação entre a modelagem proposta e o fenômeno observado na realidade (MORABITO e PUREZA, 2012).

À partir de tais definições, torna-se possível aumentar o rigor categórico no qual o presente trabalho está posicionado frente às metodologias já descritas. Portanto, o que se configura neste estudo é uma abordagem combinada entre a pesquisa quantitativa empírica normativa e a pesquisa quantitativa empírica descritiva. A fase descritiva refere-se ao primeiro momento, onde buscou-se compreender e adequar o modelo quantitativo computacional, desenvolvido por meio das técnicas de simulação, ao processo real de embalagens de bobinas de fio-máquina. A etapa normativa compreende as mudanças realizadas no modelo a fim de propor cenários com maior desempenho para o processo em questão.

Para Bryman (1989) apud Martins (2012) existe uma lógica, com algumas etapas principais no processo de pesquisa da abordagem quantitativa, que visam atender, ao final do processo, aos requisitos básicos dessa abordagem, que são: mensurabilidade, causalidade, generalização e replicação. A Figura 1 retrata o esquema lógico a ser adotado neste tipo de pesquisa.

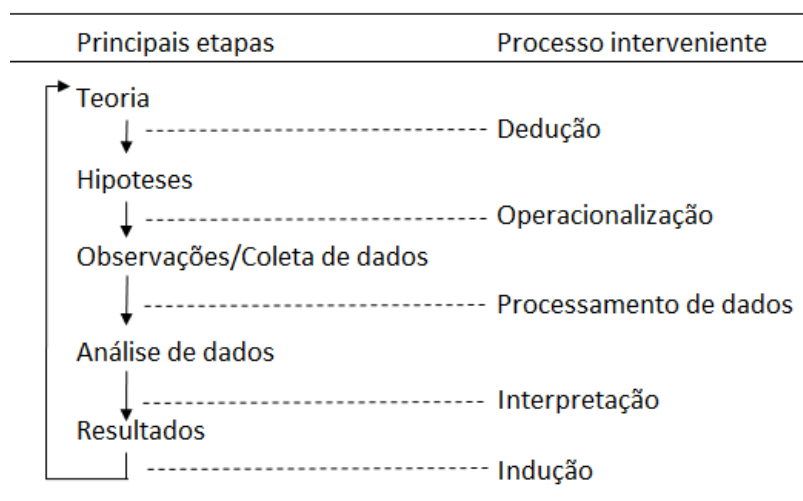


Figura 1: Estrutura lógica da abordagem quantitativa
Fonte: Bryman (1989) apud Martins (2012, p.48)

Dentro da área da pesquisa operacional, faz-se importante saber como estruturar um projeto de simulação. Andrade (2002) relaciona alguns procedimentos que são usualmente utilizados, denominados de fases. A Figura 2 é o fluxograma que relaciona as fases propostas por este autor.

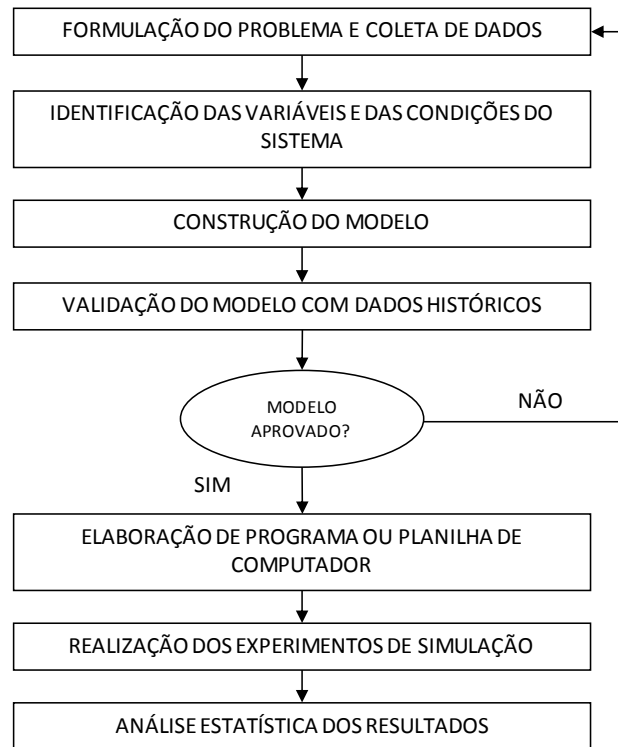


Figura 2: Fases da realização de uma simulação
Fonte: adaptado de Andrade (2002)

Assim, tomando como base o modelo de Bryman, bem como o modelo da Figura 2 proposto por Andrade (2002), o processo metodológico utilizado para realização do trabalho seguiu alguns passos lógicos conforme demonstrado na Figura 3. As etapas foram divididas em três grandes grupos cronológicos, o primeiro grupo engloba as etapas de definição do problema, o segundo grupo contempla as etapas voltadas à elaboração do modelo conceitual e computacional. Por fim, o terceiro grupo reúne as etapas direcionadas à validação e análises dos resultados.

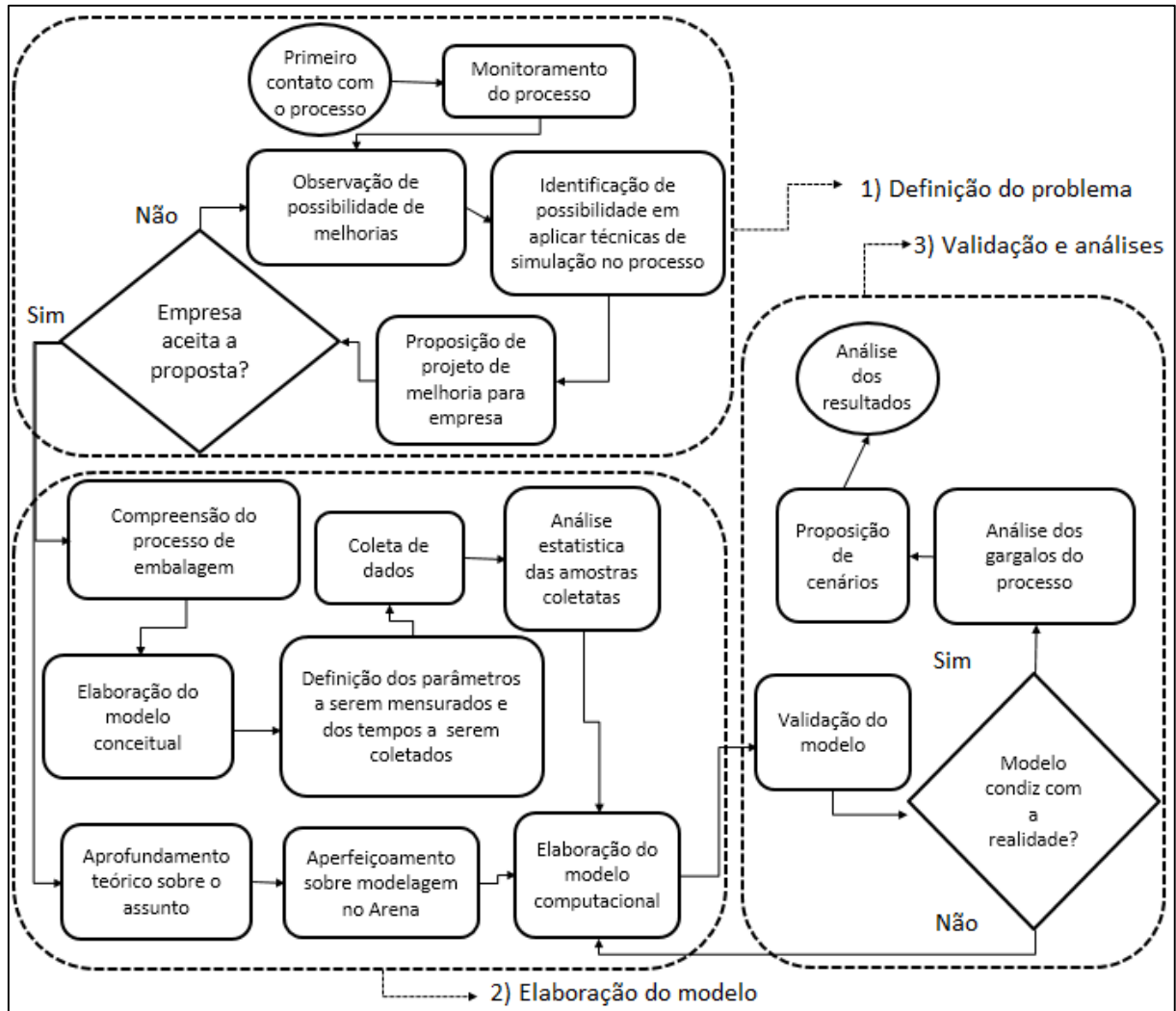


Figura 3: Etapas da realização do estudo

Fonte: elaborado pelo autor

3.2 Descrição do processo real

O processo de embalagem das bobinas de fio-máquina dá início quando os materiais a serem embalados chegam no galpão de estocagem e são devidamente posicionados em quadras previamente definidas via sistema ERP¹ que faz todo o controle do estoque de produtos acabados. A Figura 4 representa o layout do galpão bem como da disposição das quadras de estocagem e demais componentes. A empresa produzia, até a data do estudo, mais de 200 tipos de aços, entretanto somente alguns tipos são embalados, geralmente os de maior valor agregado, porém também varia em função do cliente e da composição química da bobina.

¹ *Enterprise Resources Planning* (ERP): “Um sistema dito ERP tem a pretensão de suportar todas as necessidades de informação para a tomada de decisão gerencial de um empreendimento como um todo” (CORREA, GIANESI e CAON, 2006, p. 392).

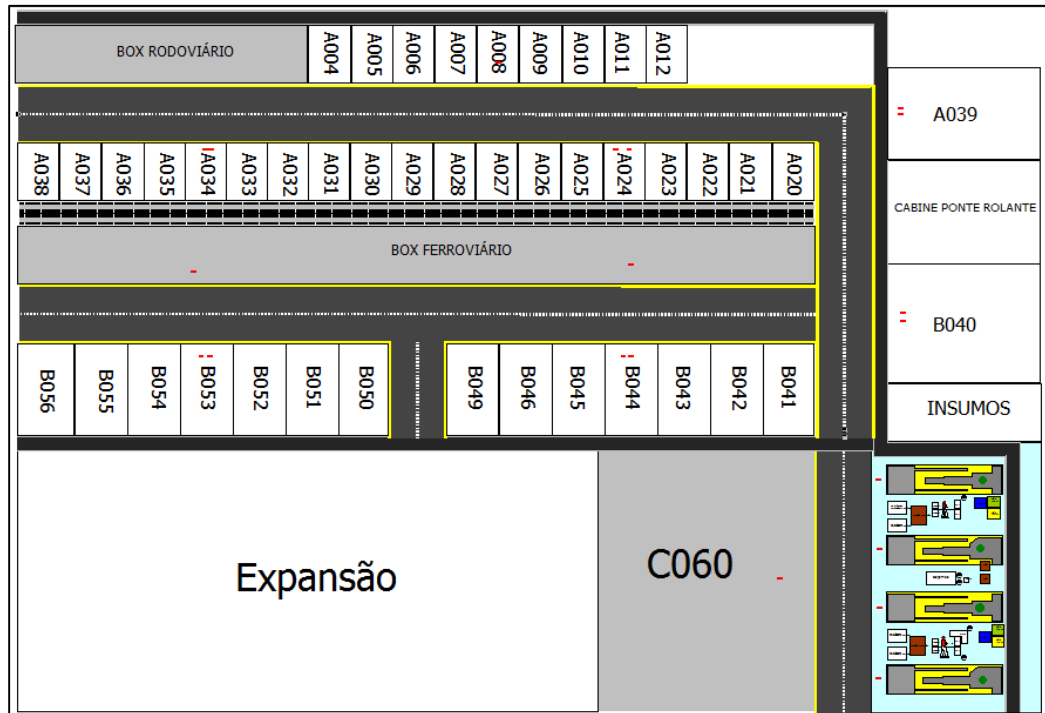


Figura 4: Layout completo do galpão de armazenagem
Fonte: elaborado pelo autor

Uma vez definidos quais rolos devem ser embalados, inicia-se o procedimento que basicamente segue o seguinte padrão:

- Inicialmente, uma lista impressa com os rolos que serão embalados é disponibilizada para os colaboradores que fazem a localização e a demarcação das bobinas nas quadras;
- Simultaneamente com o primeiro tópico, uma lista eletrônica é disponibilizada, via sistema ERP, nos computadores dos postos de embalagem para que os colaboradores que operam as máquinas embaladoras possam efetuar a leitura do código de barras disponibilizado na etiqueta de cada bobina, efetuando assim a conferência da bobina com a listagem e posteriormente atualizando seu status no sistema;
- Após a localização da bobina no estoque, é feito o transporte, via empilhadeira, do rolo até as máquinas embaladoras à medida que as mesmas estejam disponíveis;
- Ao chegar na máquina, o colaborador responsável pela máquina faz uma inspeção rápida na bobina e então efetua a leitura da etiqueta da mesma para dar início ao processo de embalagem;

- Após colocar os insumos (papel e plástico de alta resistência e abrasão) na máquina e fazer os ajustes e conferências necessárias, o operador dá início ao processo de embalagem;
- Ao término do processo de embalagem, o operador cola na embalagem alguns selos informativos e o rolo fica aguardando a empilhadeira para que seja transportado novamente para a quadra já designada pelo sistema ERP ou pela equipe de coordenação do estoque.

Ao todo, como demonstrado na Figura 4, são 45 quadras de estocagem denominadas e definidas pela própria empresa (A004 até A012; A020 até A039; B040 até B046; B049 até B056 e C060) que possuem tamanhos variados que, segundo a empresa, foram definidos com o intuito de otimizar o espaço do galpão. Além das quadras, o layout do galpão é composto por:

- Pistas de rolamento, por onde as empilhadeiras e caminhões trafegam;
- Área onde a ponte rolante permanece posicionada quando não está em uso, denominada de área da cabine da ponte rolante;
- Quadra de insumos utilizados nas máquinas embaladoras;
- Boxes de carregamento, ferroviário e rodoviário;
- Postos de trabalho das máquinas que efetuam a embalagem das bobinas;
- Pistas de passagem exclusivas para pedestres;
- Linha ferroviária;
- Área destinada a expansão futura do galpão.

3.3 Formulação do modelo conceitual e metodologia para coleta de dados

Nesta etapa, foram definidos quais os pontos deveriam ser avaliados no estudo. A gerência do departamento de Logística e Planejamento de Produção da empresa solicitou a priorização das seguintes demandas: levantar os gargalos do processo e verificar a real utilização dos equipamentos e mão-de-obra e dimensionamento da capacidade de produção.

Após a definição de forma clara dos objetivos do estudo, foram alocadas as pessoas que iriam participar da equipe para conduzir o projeto, a saber: dois estagiários (incluindo o autor deste trabalho), um supervisor de produção e um engenheiro de produção. De forma geral, os estagiários ficaram responsáveis pela

coleta dos dados e pela modelagem inicial do processo, o supervisor e o engenheiro ficaram responsáveis pela liberação dos dados e acesso ao ambiente de análise bem como pela supervisão e análise do modelo e das proposições.

3.3.1 Modelo conceitual

Como forma de compreender a realidade do processo, inicialmente os membros da equipe de projeto fizeram um estudo do processo in loco, através da observação do processo, entrevistas com os colaboradores e verificação dos procedimentos descritos nos formulários padrões para as atividades que são realizadas no processo. Esta etapa foi fundamental para iniciar a compreensão de quais eram os fatores que poderiam estar impactando o processo em maior grau e dessa forma prosseguir com o desenvolvimento do modelo conceitual para o processo, tomando como base estes fatores.

Observou-se, então, que o modelo conceitual poderia ser descrito em termo de alguns elementos básicos, tais como:

- O posicionamento das bobinas nas quadras a serem embaladas e após embaladas;
- A quantidade de empilhadeiras disponíveis para este processo e sua velocidade média;
- O número de máquinas embaladoras manejadas por cada operador;
- O tempo de ciclo de embalagem para cada bobina.

3.3.2 Coleta de dados

Sampierri, Collado e Lucio (2006) colocam que a etapa de coleta de dados implica em três atividades que estão profundamente relacionadas entre si:

- a) Selecionar um método de coletas de dados confiável;
- b) Aplicar este método;
- c) Preparar as observações, os registros e as medições obtidas.

Neste sentido, foi adotado como método de coleta de dados analisar os registros disponibilizados pela própria empresa, as medições em campo e a cronometragem dos tempos através de câmeras instaladas no galpão. A Tabela 1 mostra os dados e suas respectivas características e formas de coleta.

Dado	Característica do dado	Procedimento para coleta
Distância entre os componentes do layout do galpão	Cada elemento do layout possui uma distância específica para um segundo elemento.	Medição das distâncias com o auxílio de uma fita métrica.
Turnos de trabalho	A empresa trabalha em três turnos: 1° - 7:00 às 15:00 2° - 15:00 às 23:00 3° - 23:00 às 7:00	Verificação de qual turno seria possível realizar o estudo, análise de banco de dados para montar as estatísticas dos turnos.
Quantidade de rolos armazenados historicamente em cada quadra	Historicamente, foi detectado que existe um percentual de armazenamento dos rolos em cada região de quadras	Levantamento dos dados disponibilizados pelo sistema ERP da empresa.
Velocidade das empilhadeiras	As empilhadeiras se movem em um intervalo de velocidade pré-determinado pelo sistema instalado nas mesmas	Análise documental: coleta dos dados do manual disponibilizado pela equipe de engenharia.
Tempo de ciclo	Cada ciclo completo pela máquina de embalar possui um tempo específico	Medição através de um cronômetro desenvolvido em Excel

Tabela 1: Detalhamento dos dados do processo e forma de coleta
Fonte: elaborado pelo autor

3.4 O modelo de simulação proposto

Após a compreensão das características principais do processo, do modelo conceitual e da análise dos dados levantados a priori, o objetivo principal durante a etapa de elaboração do modelo consiste em representar a realidade do processo de forma computacional. Tendo como interesse construir um modelo que permita a análise dentro das restrições da versão estudante do software Arena®, ou seja, o modelo a ser trabalhado não poderia ultrapassar o limite em nenhum dos requisitos listados na Tabela 2.

Requisito	Quantidade máxima
Entidades em trânsito	150
Instancias de módulos	200
Objetos SIMAN	300
Objetos CINEMA	150

Tabela 2: Limitações versão estudante Arena®
Fonte: elaborado pelo autor

Por este motivo, foi necessário limitar a criação de quadras. Assim, foram criadas somente 10 quadras no modelo computacional, denominadas pela letra Q seguida por um número. Por exemplo, a quadra Q1 do modelo computacional representa as quadras de A004 a A012 do sistema real já demonstrado na Figura 4. Dessa forma, cada uma das 10 quadras foi representada no modelo pela distância média entre todas as quadras nas quais elas representam. Na Figura 5 está o layout considerado pelo modelo de simulação, com as 10 quadras. Além das quadras, foram inseridas as pistas de rolamento, a área das quatro máquinas embaladoras, os boxes de carregamento (ferroviário e rodoviário), a cabine da ponte rolante, a região onde são colocados os insumos das máquinas embaladoras e também a região delimitada para expansão do galpão.

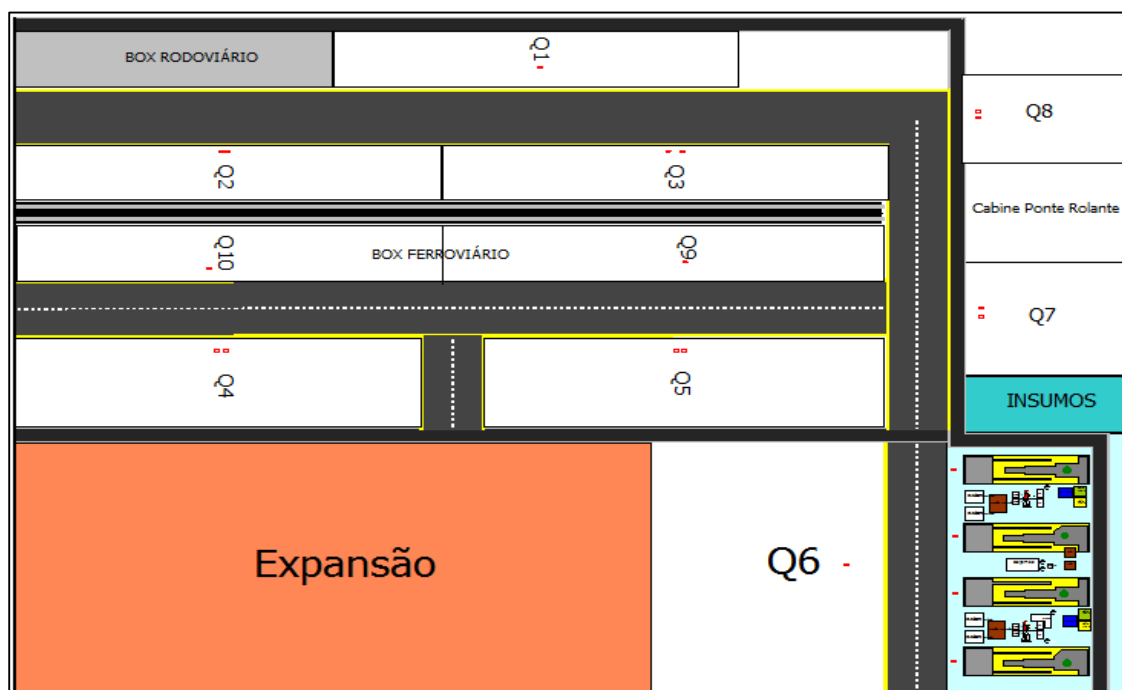


Figura 5: Layout do modelo de simulação
Fonte: elaborado pelo autor

A metodologia para a construção do modelo computacional foi delimitada pela definição dos elementos principais que compõem o processo real além dos já listados graficamente na Figura 5. Todos estes elementos estão relacionados na Tabela 3 onde se encontra também a metodologia adotada para levantamento dos respectivos dados.

Elemento	Metodologia de coleta
Posicionamento histórico das bobinas nas quadras a serem embaladas e após embaladas.	Análise do banco de dados do ERP da empresa.
Quantidade de empilhadeiras disponíveis para este processo e sua velocidade média.	Dados fornecidos pelo departamento de Engenharia da empresa.
Número de máquinas embaladoras manejadas por cada operador.	Através da gerência responsável pelo processo.
Tempo de ciclo de embalagem para cada bobina.	Através de amostragem do processo.

Tabela 3: Elementos do processo e metodologia de coleta
Fonte: elaborado pelo autor

4 ANÁLISE DOS DADOS

A partir do modelo conceitual, tem-se os elementos básicos desse sistema, ao passo que após a análise dos dados, obtém-se as quantidades, fórmulas, estatísticas e relações importantes entre estes elementos que devem ser levados para o projeto da simulação. Com isso, tem-se as seguintes situações adotadas na simulação para cada fator importante desse sistema para a abordagem do trabalho.

- 1º Fator: posicionamento das bobinas nas quadras a serem embaladas e após embaladas.

Após análise do banco de dados do ERP da empresa, foi possível identificar a porcentagem de bobinas armazenadas em cada conjunto de quadras. A Tabela 4 mostra as porcentagens de bobinas a serem embaladas que são historicamente armazenadas em cada quadra. A Tabela 5 possui a mesma lógica, porém para as porcentagens de bobinas embaladas que são historicamente armazenadas em cada quadra.

Quadra	%
Q1	0
Q2	2
Q3	8
Q4	15
Q5	15
Q6	45
Q7	10
Q8	5
Q9	0
Q10	0

Tabela 4: Bobinas a embalar em percentual
Fonte: elaborado pelo autor

Quadra	%
Q1	25
Q2	5
Q3	5
Q4	5
Q5	5
Q6	0
Q7	3
Q8	2
Q9	25
Q10	25

Tabela 5: Bobinas embaladas em percentual
Fonte: elaborado pelo autor

- 2º Fator: a quantidade de empilhadeiras disponíveis para este processo e sua velocidade média;

São disponibilizadas duas empilhadeiras nas quais se movem a uma velocidade que segue uma distribuição triangular de probabilidades $TRIA(100,150,200)$ m/mim.

- 3º Fator: o número de máquinas embaladoras manejadas por cada operador;

O processo é composto de quatro máquinas embaladoras e cada operador fica responsável por operar e supervisionar duas. Sendo o Operador 1 responsável pelas máquinas embaladoras 1 e 2; o Operador 2 responsável pelas máquinas embaladoras 3 e 4.

- 4º Fator: o tempo de ciclo de embalagem para cada bobina.

As medições dos tempos ocorreram durante duas semanas no turno das 7:00 às 15:00 horas, com todos os operadores da rotina e em horários aleatoriamente distribuídos entre às 8:00 e às 14:00 horas pelo fato de a produção estar em ritmo normal nessa faixa de horário, segundo a supervisão da empresa. Como a coleta ocorreu eletronicamente de dentro do escritório administrativo da empresa através de câmeras localizadas no chão de fábrica, não foi possível coletar tempos em outros turnos pois o escritório encerra as atividades às 17 horas.

Já prevendo uma possível variabilidade anormal das amostras, denominados “*Outliers*” sendo que “um *outlier* é uma observação que se diferencia tanto das demais observações que levanta suspeitas de que aquela observação foi gerada por um mecanismo distinto” (HAWKINS, 1980, p.1). Para a análise desses dados, foi adotado o teste de *outliers* de Grubbs, pois segundo este autor, esse é um teste que possui bom desempenho ao ser aplicado em dados que seguem uma distribuição normal.

Ao todo foram coletadas 180 amostras e, após a análise estatística, já desconsiderando os *outliers* pelo teste de Grubbs, dentro do intervalo de confiança de 5%, restaram 166 amostras válidas. Verificou-se que as mesmas se adequavam à uma distribuição normal $NORM(6,577;1,075)$ com p-valor maior que o intervalo de confiança, validando assim o teste de normalidade. O gráfico do teste de normalidade dessas amostras está representado na Figura 6 onde também se encontra os parâmetros já mencionados acima.

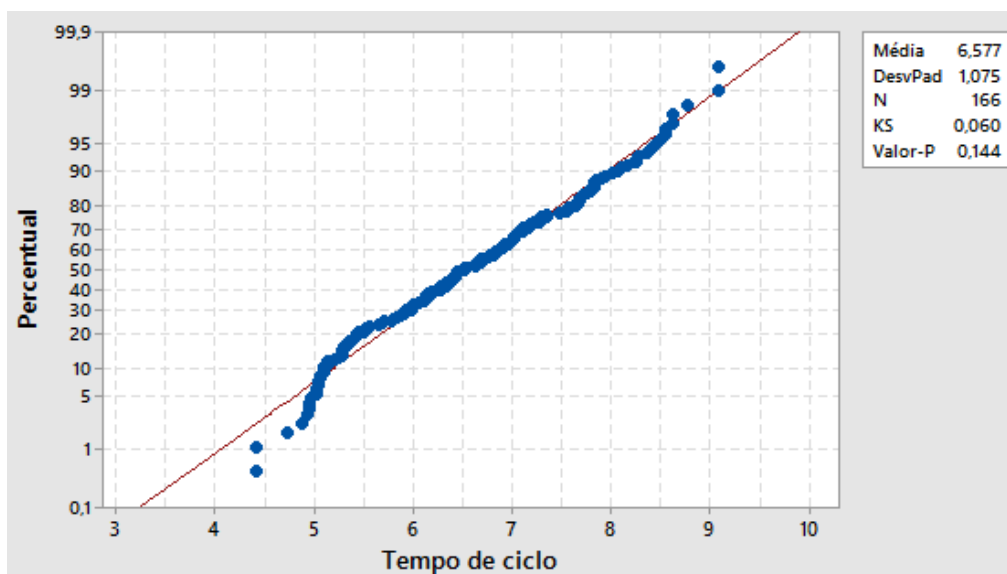


Figura 6: Análise da normalidade dos dados
Fonte: elaborado pelo autor

Mesmo os dados se ajustando bem por uma distribuição normal, foi verificado através da ferramenta *input analyzer* disponível dentro do Arena®, qual a distribuição de probabilidade que melhor se adequou a esta amostra. Na Figura 7 estão as características dessa distribuição indicada pelo software. Ao passo que a Figura 8 representa o gráfico gerado pelo *input analyzer* para essa situação.

Distribuição	Beta
Expressão	$4 + 5.55 * \text{BETA}(2.62, 3.02)$
Erro quadrático	0.007099
P-valor correspondente	0.502

Figura 7: Características do tempo de ciclo
Fonte: elaborado pelo autor

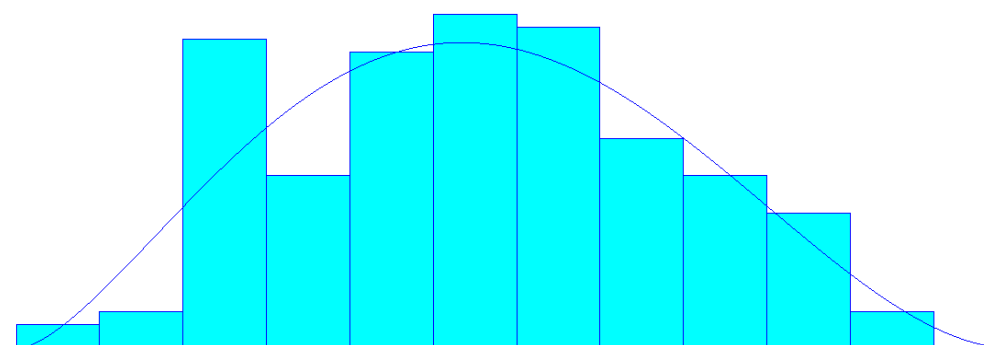


Figura 8: Ajuste do tempo de ciclo à distribuição Beta
Fonte: elaborado pelo autor

4.1 Validação do modelo

A estrutura do modelo construído para esta situação pode ser vista na Figura 12 do Anexo I, para validá-lo utilizou-se da técnica de teste de hipóteses. Segundo Devore (2006), testes de hipóteses são utilizados quando se deseja testar algum parâmetro específico de uma população, com base em testes estatísticos de uma ou mais amostras.

Conforme Devore (2006), todo teste de hipótese se baseia em assumir um valor para uma determinada hipótese nula (H_0) e uma hipótese alternativa (H_a). Dentre os tipos de testes de hipóteses, o teste de médias é utilizado quando se tem a média de uma determinada amostra e a média de uma população a ser testada, podendo também ser utilizado com mais de uma amostra. Entretanto, segundo Devore (2006), o teste para uma média pode ser descrito como uma das seguintes situações:

- Hipótese nula: $H_0: \mu = \mu_0$

$$\text{Valor da estatística de teste: } z_{ob} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}$$

- Hipótese alternativa:

$$H_a: \mu > \mu_0$$

$$H_a: \mu < \mu_0$$

$$H_a: \mu \neq \mu_0$$

Onde: μ_0 é o valor da média populacional de interesse;

σ é o desvio padrão populacional;

n é o tamanho da amostra;

$\bar{x}$ é a média amostral;

z_{ob} é o valor a ser comparado com o Z da função de distribuição de probabilidade normal tabelado que é dado em função do nível de significância (α) adotado pelo teste, normalmente utiliza-se $\alpha = 5\%$, dessa forma define-se as regiões de aceitação e rejeição do H_0 .

Visto a breve conceituação acerca dos testes de hipóteses, determinou-se o teste para a validação do modelo proposto. O parâmetro escolhido a ser testado foi o média de rolos embalados por turno, pois além de ser o único parâmetro historicamente mensurado é uma das variáveis na qual se deseja melhorar o desempenho. Desse modo, foram buscados os dados históricos do processo para

formulação da hipótese (H_0) e foram tomados para o teste como dados populacionais, pois na data de 10/01/2017 o processo sofreu mudanças operacionais que permaneceram até o momento em que o estudo se realizou. Dessa forma, todos os segundo turnos posteriores a essa mudança, considerados turnos de produção normal pela empresa até o último dia de coleta de dados do presente trabalho, 30/07/2018, foram considerados totalizando 132 turnos amostrados. Após a compilação destes dados, foram geradas as estatísticas da Figura 9, nas quais pode ser constatado que a média de rolos embalados por turno é 127,8 rolos com um desvio padrão de 22,17 rolos, valores estes que serão usados posteriormente no teste de hipótese.

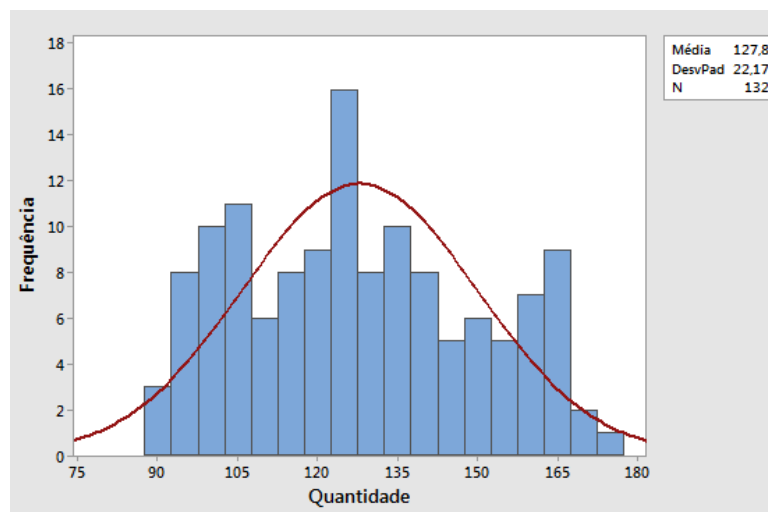


Figura 9: Distribuição de frequências da quantidade de rolos embalados historicamente
Fonte: elaborado pelo autor

Para gerar os dados da simulação para completar o teste de hipóteses, foram feitas também 132 simulações do modelo proposto, através do recurso réplica do Arena®. Tendo gerado as estatísticas mostradas na Figura 10.

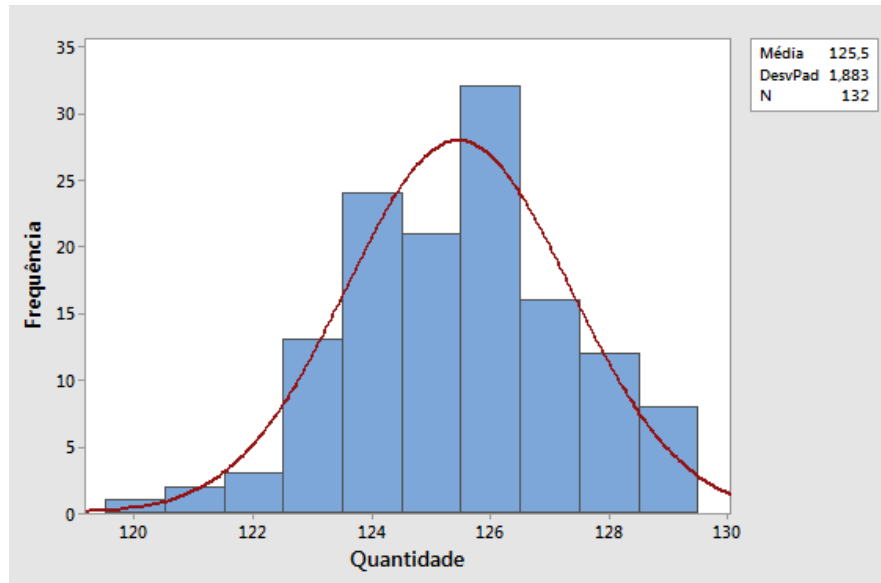


Figura 10: Distribuição de frequências da quantidade de rolos embalados pelas réplicas do modelo simulado
Fonte: elaborado pelo autor

Verifica-se que a média obtida pelas réplicas da simulação foram de 125,5 Un, sendo este valor utilizado na realização do teste de hipótese para uma média. O teste foi realizado através do software, com pacote de ferramentas estatísticas, Minitab®, no qual utilizou-se $\mu_0 = 127,8$ Un, $\sigma = 22,17$, $\bar{x} = 125,5$ Un, a (H_a) de interesse nesse teste é $\mu \neq \mu_0$, $n = 132$ e $\alpha = 5\%$. O resultado do teste pode ser visto na Figura 11.

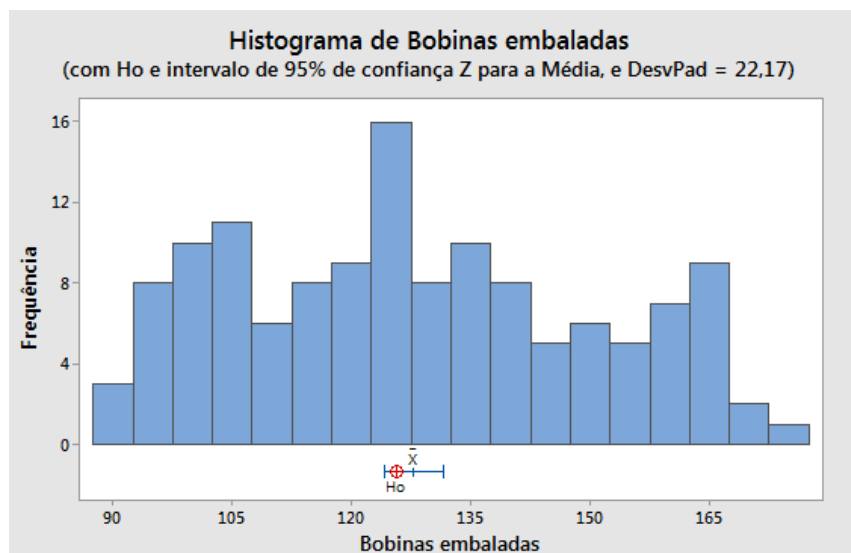


Figura 11: Teste de hipótese de uma média para o desempenho do modelo proposto
Fonte: elaborado pelo autor

Pela Figura 10, verifica-se que a (H_a) obtida pelo modelo proposto está dentro do intervalo de confiança (124,06; 131,62) Un, sendo assim, ao nível de 95% de

confiança, o modelo proposto consegue reproduzir a quantidade de bobinas embaladas que são historicamente produzidas pelo processo real, o que torna o modelo válido para a tomada de decisão com base nos parâmetros adotados neste teste e no sistema real.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Conforme o objetivo do trabalho, nesse capítulo será analisado o desempenho do processo original e dos cenários alternativos, buscando evidenciar os gargalos desse processo, os recursos subutilizados e as melhorias que serão possíveis de se obter com a implementação das mudanças propostas pelos cenários alternativos.

5.1 Gargalos do processo

Para ser possível atingir o objetivo principal deste trabalho é necessário compreender quais são os componentes que estão reduzindo a eficiência do processo real e os que estejam sendo subutilizados. Para isso, foi utilizado os dados dos relatórios do Arena® que trazem as informações detalhadas do desempenho de cada um dos elementos, recursos, filas e processos desse sistema. Com estes relatórios torna-se possível identificar os principais gargalos no processo de embalagem de fio máquina da siderúrgica em questão.

Após todas as replicações do modelo original, verificou-se, com base nos relatórios do software, as taxas de utilização dos recursos desse processo. Estes dados estão descritos na Tabela 6.

Recurso	Taxa de Utilização (%)
Operador 1	99,62
Operador 2	99,47
Máquina Embaladora 1	47,28
Máquina Embaladora 2	47,50
Máquina Embaladora 3	46,88
Máquina Embaladora 4	46,98
Empilhadeiras	24,68

Tabela 6: Taxas de utilização dos recursos do modelo original
Fonte: elaborado pelo autor

A partir da Tabela 6, verifica-se que os recursos: Operador 1 e Operador 2, estão limitando a capacidade deste processo, sendo então os gargalos desse sistema, pois possuem taxa de utilização mais alta, chegando a ser duas vezes maior que os recursos Máquinas Embaladoras no geral. Ainda com base na mesma Tabela 6, percebe-se que o recurso Empilhadeiras está subutilizado pois possui a menor taxa de utilização de todas, estando ocioso em mais de 75% do turno.

5.2 Cenários alternativos

Com base no levantamento dos gargalos do processo original, foi possível elaborar cenários alternativos. Para isso, foram trabalhados três contextos, o contexto de redução de empilhadeiras, que visa melhor utilizar os recursos Empilhadeiras. O contexto de aumento do número de operadores, para resolver o problema do gargalo do processo e aumentar a produtividade e utilização das máquinas embaladoras. E, por fim, um contexto onde os dois cenários anteriores foram combinados.

Ressalta-se que o objetivo desse trabalho não é avaliar a configuração do processo em termos de análise econômica e/ou ergonômica dos postos de trabalho. Por esse motivo, os cenários propostos foram desenvolvidos com o objetivo que vem de encontro com o trabalho, ou seja, buscando melhorar a eficiência do processo e também a utilização dos equipamentos que já se encontram disponíveis para utilização na planta da empresa.

5.2.1 Cenário 1: redução de empilhadeiras

Neste cenário, foi trabalhado o modelo original com somente uma empilhadeira. Ou seja, redução de 50% do recurso Empilhadeira na tentativa de melhor utilizar este recurso sem comprometer o desempenho atual do processo. As estatísticas da nova simulação estão relacionadas na Tabela 7.

Recurso	Taxa de Utilização (%)
Operador 1	99,87
Operador 2	99,14
Máquina Embaladora 1	49,20
Máquina Embaladora 2	50,68
Máquina Embaladora 3	47,94
Máquina Embaladora 4	51,20
Empilhadeiras	46,62

Tabela 7: Taxas de utilização dos recursos no Cenário 1
Fonte: elaborado pelo autor

Comparando os dados da Tabela 6 com a Tabela 7 verifica-se que houve melhoria na taxa de utilização do recurso Empilhadeiras em 21,94%, bem como uma leve melhoria média de aproximadamente 2% na taxa de utilização das Máquinas Embaladoras. Entretanto, não houve redução do recurso gargalo. Ainda com base nos

relatórios, não houve mudança estatística no desempenho total do processo, visto que nesse cenário a produção média de bobinas embaladas foi de 124,7 Un. Valor que está dentro do intervalo de confiança de 95% do desempenho do processo original utilizado na etapa de validação do modelo.

5.2.2 *Cenário 2: reorganização dos postos de trabalho*

Com o aumento do número de operadores o objetivo é desafogar os gargalos e melhorar a taxa de utilização das Máquinas Embaladoras no intuito de aumentar a capacidade do processo. Para isso, foi utilizado um modelo com quatro operadores, com estrutura demonstrado na Figura 13 do Anexo I, no qual cada operador é o responsável por somente uma máquina embaladora. Sendo o Operador 1 responsável pela Máquina Embaladora 1, o Operador 2 responsável pela Máquina Embaladora 2, o Operador 3 responsável pela Máquina Embaladora 3 e o Operador 4 responsável pela Máquina Embaladora 4.

Neste cenário, os novos valores de taxa de utilização dos recursos foram os descritos na Tabela 8.

Recurso	Taxa de Utilização (%)
Operador 1	85,20
Operador 2	85,21
Operador 3	84,87
Operador 4	85,24
Máquina Embaladora 1	85,25
Máquina Embaladora 2	85,21
Máquina Embaladora 3	84,87
Máquina Embaladora 4	85,24
Empilhadeiras	42,54

Tabela 8: Taxas de utilização dos recursos no Cenário 2
Fonte: elaborado pelo autor

Nota-se, através da comparação entre as estatísticas do modelo original descritas na Tabela 6 e as estatísticas da Tabela 8, que houve uma melhora média de aproximadamente 14% na taxa de utilização dos operadores que reduziu de 99% para 85%, melhorando assim o desempenho dos recursos gargalo. Neste cenário, também foi possível obter, em média, 38% a mais de utilização das máquinas embaladoras e 18% a mais na utilização das empilhadeiras, resultando em melhor

aproveitamento desses recursos. No que tange à produtividade esperada do processo nessa configuração, após as réplicas, obteve-se média de 215,8 bobinas embaladas. Resultando em melhoria estatística de aproximadamente 64% na produtividade do processo.

5.2.3 **Cenário 3: combinação de Cenários 1 e 2**

Ao combinar os cenários 1 e 2 o objetivo é verificar o comportamento do processo quando se coloca em um mesmo modelo as melhorias realizadas nos dois cenários individuais. Na Tabela 9 estão as estatísticas do modelo para este cenário.

Recurso	Taxa de Utilização (%)
Operador 1	75,15
Operador 2	73,68
Operador 3	73,00
Operador 4	75,12
Máquina Embaladora 1	75,15
Máquina Embaladora 2	73,68
Máquina Embaladora 3	73,00
Máquina Embaladora 4	75,12
Empilhadeiras	70,67

Tabela 9: Taxas de utilização dos recursos na combinação dos Cenários 1 e 2
Fonte: elaborado pelo autor

Verifica-se, através da Tabela 9, que na combinação dos cenários os recursos já estão sendo utilizados de forma melhor distribuída que nos cenários anteriores pois não há grandes discrepâncias nas taxas de utilização. Percebe-se que neste modelo não há evidências, com base no relatório, que exista um recurso demasiadamente sobrecarregado em detrimento a recursos subutilizados. Neste cenário, os gargalos foram melhorados e os recursos desnecessários foram desalocados, gerando então um processo mais enxuto e balanceado.

Contudo, neste cenário a produção média estimada é de 188,9 rolos embalados por turno, valor 12,1% menor que a produtividade média do Cenário 2 que é de 215 rolos, porém 44% maior que a produtividade média do modelo original que é de 125,5 rolos.

6 CONCLUSÕES

Conforme delineado pelos objetivos colocados inicialmente, neste trabalho buscou-se simular o processo real de embalagem de fio máquina de uma siderúrgica, evidenciando os seus gargalos e a intensidade da utilização dos recursos alocados a este processo. Foi construído um modelo conceitual baseado nos principais parâmetros do processo que deram suporte para a validação estatística do modelo computacional. Uma vez validado o modelo, foi possível propor cenários para avaliar a possibilidade de melhoria do processo real através dos resultados advindos destes cenários ao qual foi possível chegar aos resultados resumidos na Tabela 10.

	Original	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	
Operador 1	99,62	99,87	85,20	75,15	% de Utilização
Operador 2	99,47	99,14	85,21	73,68	% de Utilização
Operador 3	-	-	84,87	73,00	% de Utilização
Operador 4	-	-	85,24	75,12	% de Utilização
Máquina Embaladora 1	47,28	49,20	85,25	75,15	% de Utilização
Máquina Embaladora 2	47,50	50,68	85,21	73,68	% de Utilização
Máquina Embaladora 3	46,88	47,94	84,87	73,00	% de Utilização
Máquina Embaladora 4	46,98	51,20	85,24	75,12	% de Utilização
Empilhadeiras	24,68	46,62	42,54	70,67	% de Utilização
Produção Média	127,8	124,7	215,8	188,9	Unidades

Tabela 10: Resumo dos relatórios de todos os modelos
Fonte: elaborado pelo autor

Ficou evidente através dos resultados que os recursos Operador 1 e 2 estavam sobrecarregados tanto no processo original quando no Cenário1, tendo mais de 99% de taxas de utilização, ao passo que o recurso Empilhadeiras estava sendo subutilizado também nestes dois cenários, com taxas de utilização menores que 50%. Foi possível verificar que nos cenários 2 e 3 houve expressivas melhorias tanto nas taxas de utilização dos recursos quanto na capacidade produtiva do processo, caso a empresa opte por utilizar algum dos dois últimos cenários.

Portando, conclui-se que os objetivos, principal e específicos, deste trabalho foram alcançados dentro do escopo e temática que foi proposta e pelos resultados e análises obtidos durante as etapas deste estudo.

Entretanto, fica como sugestões para melhoria de trabalhos futuros: a realização da análise de viabilidade econômica de cada um dos cenários; o estudo de tempos e movimentos das micro tarefas realizadas neste processo, principalmente no posto de trabalho dos embaladores no intuito de verificar se é possível reduzir o tempo de ciclo de embalagem de cada rolo; analisar da perspectiva ergonômica e de segurança no trabalho, os postos de trabalhos deste processo visto as altas taxas de utilização dos operadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEPRO. **Referências de conteúdos da engenharia de produção**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, p. 3. 2008.

ANDRADE, E. L. D. **Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

BAGAGI, M. Siderurgia Brasil: o portal de negócios do aço. **Gestão e Estratégias na Competitividade da Siderurgia**, São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.siderurgiabrasil.com.br/portal/index.php/indice-da-revista/69-sb-122-gestao-estrategia>>. Acesso em: 28 Novembro 2018.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. Londres: Unwin Hyman, 1989.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002.

CORREA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências**. Tradução de Joaquim Pinheiro Nunes da Silca. São Paulo: Thomson, 2006.

FREITAS, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em arena**. Florianópolis: Visual Books, 2001.

HAWKINS; D. **Identification of Outliers**. 1. ed. [S.l.]: Springer Netherlands, 1980.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. D. A. **Metodologia científica: Ciência e conhecimento científico; Métodos científicos; Teoria, hipóteses e variáveis**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 1991.

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa Operacional: fundamentos e modelos**. São Paulo: Saraiva, 2009.

MARTINS, R. A. Princípios da Pesquisa Científica. In: CAUCHICK, P. A. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora LTDA, 2012.

MAXIMIANO, A. C. A. **Teoria Geral da Administração: da revolução urbana à revolução digital**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e Simulação. In: CAUCHICK, P. A. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora LTDA, 2012.

PRADO, D. **Usando o Arena em simulação**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, v. 3, 1999.

PRADO, D. S. D. **Teoria das Filas e da Simulação**. Belo Horizonte: INDG tecnologia e Serviços LTDA, v. 2, 2004.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 16, p. 25-43, Jan-Mar 2009.

SAMPIERI, H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de Pesquisa**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional**: uma visão geral. Tradução de Arlete Simille Marques. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

WOMACK, J. P. **A mentalidade enxuta nas empresas**: elimine o desperdício e crie riqueza. Tradução de Ana Beatriz Rodrigues e Priscila Martins Celeste. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

ANEXO 1 – Modelos de simulação criados no Arena®