

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO - MESTRADO PROFISSIONAL**

Evandro Carlos Soffiatti

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE
SISTEMAS DE DESCARGA DE GRANÉIS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL**

Passo Fundo

2016

Evandro Carlos Soffiatti

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE
SISTEMAS DE DESCARGA DE GRANÉIS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL**

Orientador: Prof. Dr. Wu Xiao Bing

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo

2016

Evandro Carlos Soffiatti

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE
SISTEMAS DE DESCARGA DE GRANÉIS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 11 de Janeiro de 2016.

Os componentes da banca examinadora abaixo aprovaram a dissertação:

Professor Doutor Wu Xiao Bing
Orientador

Professor Doutor Wang Chong
Universidade Federal do Pampa

Professor Doutor Vagner Alves Guimarães
Universidade de Passo Fundo

Professor Doutor Márcio Walber
Universidade de Passo Fundo

Dedico este trabalho às pessoas queridas de minha vida, minha esposa e minha filha, por todo tempo que abdicaram da vida em família para a realização deste objetivo.

Dedico aos meus Pais e irmãos que me compreenderam e impulsionaram meu sucesso.

Ainda aos amigos e sogros que, por pequenos gestos, me fizeram superar desafios e barreiras.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado forças e me orientado pela fé nas horas de angústia e indecisão.

Agradeço imensamente a minha família pelo carinho, apoio e dedicação em todos os momentos deste desenvolvimento.

Agradeço em especial aos amigos Regis e Carine e às amigas Viviane e Elaine, que permitiram algumas noites de sono em seus lares enquanto realizava minha formação.

Agradeço a meus educadores, em especial meu orientador, professor doutor Wu Xiao Bing, por toda compreensão e apoio e, em nome dele, estendo minha gratidão a todos que me auxiliaram e participaram de minha formação.

Agradeço ainda a empresa que me proporcionou abertura para utilizar informações práticas de seus processos para o estudo e desenvolvimento deste trabalho.

E eu vos digo que a vida é realmente escuridão, exceto quando há impulso.

E todo impulso é cego, exceto quando há saber.

E todo saber é vazio, exceto quando há trabalho.

E todo o trabalho é vazio, exceto quando há amor.

Gibran Khalil Gibran

RESUMO

O trabalho constitui-se do desenvolvimento de um modelo computacional, aplicado ao estudo da eficiência nas estações de trabalho do processo de fabricação de equipamentos, utilizados para elevação e basculamento de caminhões na operação de descarga de grãos, em uma empresa situada na Região Sul do Brasil. O projeto apresenta o layout da linha de produção e o cenário atual do processo e estuda as possibilidades de soluções aos problemas de desorientação da aderência entre os postos de trabalho e a baixa eficiência na produção, bem como a capacidade de melhoria dos resultados em produtividade. Desenvolve-se um modelo computacional para a simulação onde são realizadas simulações, utilizando cenários alternativos hipotéticos, para obtenção de soluções às dificuldades listadas. Obtém-se bons resultados no âmbito dos processos produtivos, como o alinhamento da eficiência e melhor aderência entre os postos de trabalho, os quais apresentam aumento médio de 26% ao modelar a linha em sua totalidade, com acréscimos de, aproximadamente, 2,5% na produção dos sub conjuntos nomeados por perfil da viga. Também há redução no tempo de ciclo de produção, onde obtém-se 2,5% de melhoria, valor que justifica o aumento de produtividade que corresponde a ganhos anuais aproximados a R\$362.000,00. Complementando os resultados financeiros, há uma redução anual de aproximadamente R\$ 33.000,00 em custos com mão de obra alocada ao processo, representando oportunidades de melhoria no atendimento ao cliente interno e externo, bem como organização e sequenciamento da linha de produção.

Palavras-chave: Modelo Computacional, Simulação Computacional, Eficiência, Sequenciamento, Linha de Produção, Layout.

ABSTRACT

The study represents the development of a computational model, applied to the study of efficiency in work equipment manufacturing process stations, used for lifting and tipping trucks in grain landfill, in a company located in the South Region of Brazil. The project presents the layout of the production line and the current stage of the process and is exploring possibilities for solutions to the problems of disorientation adhesion between the jobs and the low efficiency in production, and the ability results in improvement of productivity. Developed a computational model to simulate where simulations are performed using hypothetical alternative scenarios, in order to obtain solutions to the listed problems. Obtained good results in terms of production processes, the alignment efficiency and better adhesion between the jobs, which have an average increase of 26% when modeling the line in its entirety, with increases of approximately 2.5 % in the production of sub assemblies appointed by the beam profile. There is also reduction in production time cycle, which yields 2.5% improvement, value that justifies the increased productivity that matches the approximate annual earnings of R\$ 362,000.00. Complementing the financial results, there is an annual reduction of approximately R\$ 33.000.00 in costs of labor allocated to the process, representing opportunities for improvement in service to internal and external customer, as well as organization and sequencing of the production line.

Keywords: Computational model, Computational Simulation, Efficiency, Sequencing, Production Line Layout.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Ciclo da Simulação	20
Figura 2.2 - Área de trabalho do <i>software</i>	24
Figura 3.1 – Fluxograma de estudo da modelagem e simulação.....	41
Figura 3.2 - Equipamento em aplicação prática (elevação de carga)	43
Figura 3.3 - Perfil da viga estrutural do chassi.....	44
Figura 3.4 - Viga estrutural do chassi.....	45
Figura 3.5 - Chassi traseiro montado.....	45
Figura 3.6 - Chassi dianteiro montado.....	46
Figura 3.7 - Chassi montado com 18 metros	46
Figura 3.8 - Detalhamento do layout e dos processos de montagem por solda.....	48
Figura 3.9 - Modelo base da área de solda e montagem por solda.....	60
Figura 4.1 – Gráfico da simulação para linha geral.....	73
Figura 4.2 – Modelo parcial do processo	74
Figura 4.3 - Gráfico da simulação para linha parcial	75
Figura 4.4 - Gráfico de trabalho do cenário A.....	77
Figura 4.5 - Gráfico de trabalho do cenário B	78
Figura 4.6 - Gráfico de trabalho no cenário C	79
Figura 4.7 - Gráfico de trabalho no cenário D.....	81
Figura 4.8 - Gráfico de trabalho no cenário E	82
Figura 4.9 – Gráfico de trabalho nos cenários atual x simulação.....	85
Figura 4.10 – Gráfico de tempo de produção nos cenários atual x simulação	86
Figura 4.11 – Modelo final da linha na solução proposta	89
Figura 4.12 - Gráfico da linha no cenário atual.....	90
Figura 4.13 – Gráfico da linha no cenário B (final)	91
Figura 4.14 – Desvio padrão nos cenários.....	92
Figura 4.15 – Gráfico de eficiência nos cenários atual x final	93
Figura 4.16 – Gráfico do cenário atual no tempo de produção programado.....	95
Figura 4.17 – Gráfico do cenário final no tempo de produção programado	96
Figura 4.18 – Gráfico de trabalho nos cenários atual versus final	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Perdas pela parada da linha.....	18
Tabela 3.1 - Planilha de vendas mensais	51
Tabela 3.2 – Codificação da estruturas do produto	52
Tabela 3.3 – Equipamentos e tempos de processo	54
Tabela 3.4 – Tempos de movimentação	56
Tabela 3.5 - Divisão dos sub conjuntos das vigas	57
Tabela 3.6 – Dados para simulação de produção	58
Tabela 3.7 - Identificação dos blocos do modelo	61
Tabela 3.8 - Tempos de movimentação.....	64
Tabela 3.9 – Códigos fantasmas para simulação.....	66
Tabela 3.10 – Dados para validação do modelo.....	67
Tabela 3.11 - Resultados da validação ao tempo de processo.....	67
Tabela 3.12 – Resultados da validação para produção.....	68
Tabela 4.1 – Tabela de configuração do modelo.....	71
Tabela 4.2 – Dados da simulação para linha geral atual	72
Tabela 4.3 - Dados da simulação para linha parcial atual	75
Tabela 4.4 - Simulação do cenário A	76
Tabela 4.5 - Simulação no cenário B.....	78
Tabela 4.6 - Simulação no cenário C.....	79
Tabela 4.7 - Simulação no cenário D	80
Tabela 4.8 - Simulação no cenário E.....	82
Tabela 4.9 – Tabela de eficiências nos cenários.....	83
Tabela 4.10 - Dados comparativos cenário atual x simulação	84
Tabela 4.11 – Tempo de produção nos cenários atual x simulação	85
Tabela 4.12 – Produção mensal nos cenários atual x simulação.....	86
Tabela 4.13 – Distribuição da mão de obra no cenário atual x simulação	87
Tabela 4.14 – Redução da mão de obra e custo.....	87
Tabela 4.15 - Simulação no cenário atual da linha geral.....	90
Tabela 4.16 – Simulação no cenário B (final) da linha geral	91
Tabela 4.17 – Utilização das estações nos cenários atual x final	92
Tabela 4.18 – Comparativo entre eficiências mínimas e médias	93
Tabela 4.19 – Eficiência no cenário atual no tempo de produção programado.....	95

Tabela 4.20 – Eficiência no cenário final no tempo de produção programado.....	96
Tabela 4.21 – Eficiência das estações nos cenários atual versus final	97
Tabela 4.22 – Produção mensal nos cenários atual x final.....	98
Tabela 4.23 – Resultados dos ganhos financeiros mensais teóricos	99
Tabela 4.24 – Custos estimados para implantação do projeto.....	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DIANT	Dianteira
TRAS	Traseira
DIR	Direita
ESQ	Esquerda
QTDD	Quantidade
CONJ	Conjunto
TRAB	Trabalho

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos da pesquisa	17
1.2 Justificativas	17
1.3 Estrutura do trabalho	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 A modelagem e simulação computacional na tomada de decisão e solução de problemas em sistemas produtivos	19
2.1.1 Conceitos de simulação	19
2.1.2 Conceitos de modelagem.....	21
2.2 Linguagem de Simulação Computacional.....	22
2.3 Conceitos de produção	27
2.4 Estudo e aplicação da modelagem e simulação	29
2.4.1 Uso da modelagem matemática.....	29
2.4.2 Uso da simulação computacional	31
3 DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM E SIMULAÇÃO.....	41
3.1 Metodologia.....	41
3.2 Apresentação do produto foco do trabalho.....	43
3.3 Apresentação do layout e fluxo dos componentes em estudo	47
3.4 Coleta de dados	50
3.4.1 Definição dos equipamentos para a simulação.....	50
3.5 Definição de dados e níveis da estrutura do produto	51
3.5.1 Definição de tempos totais do processo de fabricação	53
3.5.2 Definição dos tempos de movimentação	55
3.5.3 Definição de tempos do processo de fabricação dos subconjuntos	56
3.5.4 Configuração dos valores para simulação	57
3.6 Modelagem e simulação	59
3.7 Descrição dos processos de fabricação	62
3.7.1 Validação dos tempos de movimentação	63
3.8 Validação do modelo	64
4 EXPERIMENTO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	69
4.1 Formação dos dados e orientação para os experimentos	69
4.2 Apresentação dos experimentos e simulação.....	70

4.3	Apresentação dos cenários modelados	76
4.3.1	Cenário A.....	76
4.3.2	Cenário B.....	77
4.3.3	Cenário C.....	79
4.3.4	Cenário D.....	80
4.3.5	Cenário E.....	81
4.4	Análise dos resultados.....	83
4.4.1	Comparação dos resultados dos cenários	83
4.4.2	Comparação dos cenários atual x simulação	84
4.5	Simulação da linha de produção geral	88
4.6	Simulação da produção mensal em programação cíclica	94
4.6.1	Verificação da produtividade.....	98
4.6.2	Análise de investimento para aplicação prática.....	99
5	CONCLUSÕES	101
	BIBLIOGRAFIA.....	103
	APÊNDICE A – Planilha para coleta de dados em cronoanálise	107
	APÊNDICE B – Planilha equipamentos embarcados em 2014	108
	APÊNDICE C – Tabela demonstrativa de códigos de produtos.....	109
	APÊNDICE D – Tabela de tempos de movimentação do processo	110
	APÊNDICE E – Tabela de agrupamento de dados (parte 1).....	111
	APÊNDICE E – Tabela de agrupamento de dados (parte 2).....	112

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução industrial, o mercado se torna cada vez mais competitivo e “obriga” fabricantes a melhorarem seu desempenho, tanto nos conceitos de eficiência, quanto em qualidade e prazos de entrega, assim como ressalta a necessidade de desenvolver produtos com custos competitivos para manter a estrutura e a prospecção de crescimento da indústria.

Observando esta evolução dinâmica do mercado atual, as empresas necessitam qualificar-se e profissionalizar-se para que seu potencial de crescimento seja competitivo e acompanhe as expectativas do cliente, o que os impulsiona a investir em inovações e estudos para a evolução dos seus processos atualmente desenvolvidos, condições essas, indispensáveis para a manutenção do sucesso do seu negócio.

Considerando este cenário de plena competitividade e flexibilidade, as empresas veem-se forçadas a buscar alternativas tecnológicas para diminuir suas perdas e melhorar o desempenho do seu processo produtivo.

Estas alternativas englobam a utilização de *softwares* robustos na engenharia de projetos que visam a redução de erros nos produtos e a diferenciação dos mesmos ao mercado consumidor, melhorando, desta forma, a competitividade e garantindo a prosperidade da empresa.

Diante desta impulsão do mercado, muitas vezes as decisões de investimentos são tomadas de maneira prática, levando em conta somente o conhecimento prático e técnico de alguns membros da indústria, os quais, impulsionados pela pressão em obter resultados, baseiam seus argumentos em condições nem sempre fundamentadas e/ou analisadas de maneira crítica, o que pode refletir em investimentos inadequados e não inteligentes, não garantindo melhores resultados em custo benefício.

Neste momento, a utilização de ferramentas de simulação computacional, para o estudo do processo, consolidam decisões mais assertivas e investimentos com melhores resultados à competitividade e a ascendência de qualidade e produtividade.

Ferramentas de gestão e controle de processos, automação e robótica, também assumem papéis importantes no contexto de competitividade, pois permitem repetitividade, agilidade e qualidade aos processos, mas exigindo mais das fases de projetos, as quais necessitam ser mais bem modeladas e analisadas em simulações de funcionalidade e critérios de resistência.

Ainda, no processo produtivo, além das necessidades de máquinas, a organização do layout e logística não podem ser esquecidas, pois são fortes fatores de perdas.

Diante deste mercado em evolução constante, o trabalho visa estudar a aderência e eficiência de uma linha de produção de equipamentos para descarga de granéis, utilizando ferramentas computacionais para a análise e dimensionamento da estrutura física, layout e eficiência de máquinas e equipamentos.

Busca-se atender o mercado consumidor nas crescentes demandas de produtividade, agilidade e qualidade, impulsionadas pelo cenário do mercado mundial, sob este aspecto há necessidade de atender às expectativas da empresa em melhorar seus processos produtivos e a utilização da sua mão de obra, permitindo melhorar os níveis de aderência entre os processos ou postos de trabalho e suas ocupações percentuais.

Destaca-se, com a expansão do mercado e a evolução tecnológica, a necessidade de desenvolvimento de novos conceitos produtivos e da inclusão de novas tecnologias às empresas, sejam estas relacionadas à readequação de projetos, processos e/ou layouts, bem como as visões próprias de mercado que necessitam focar na competitividade, redução de custos e aumento de lucratividade e produtividade.

Desta forma, planejar novos equipamentos, definir novos processos e flexibilizar o layout são eventos correlacionados que possibilitam manter-se em níveis de competitividade e evolução coerentes às expectativas de empresários e clientes.

Neste contexto, a utilização de ferramentas de simulação de processos que permitam criar cenários utilizando informações práticas e/ou condições irreais ou aleatórias, são grandes aliadas à assertividade nas tomadas de decisões e desenvolvimento de novas estratégias para o negócio.

Para viabilizar a proposta do trabalho, atendendo às necessidades comentadas, será utilizado o *software Tecnomatix Plant Simulation*, o qual torna possível executar simulações relacionadas aos cenários desejados e estudar os resultados para a apresentação de soluções pertinentes ao problema definido.

Pretende-se criar o modelo para simulação e, assim, inserir os dados práticos elaborados e coletados via acompanhamento de processo in loco, alimentando o sistema de gerenciamento, refletindo o cenário atual e, após, proporcionando a realização das análises de cenários propostos e seus respectivos resultados.

1.1 Objetivos da pesquisa

Gerais:

Desenvolver um modelo de simulação computacional para analisar e apresentar soluções de melhoria ao balanceamento e ocupação de estações de trabalho na linha de produção de sistemas de descarga de granéis.

Específicos:

- Estudar a eficiência da linha de produção de equipamentos para descarga de granéis;
- Estudar o balanceamento e ocupação de estações de trabalho;
- Estudar a aderência do processo produtivo entre as estações de trabalho;
- Estudar os custos do processo;
- Desenvolver modelo de simulação computacional para analisar e apresentar soluções de melhoria.

1.2 Justificativas

O estudo busca identificar oportunidades de melhoria relacionadas a:

- Baixa aderência entre as estações de trabalho;
- Baixa eficiência da mão de obra;
- Falta de balanceamento entre as estações de trabalho;
- Baixo desempenho em produtividade.

Em atenção a tarefa proposta, a opção pelo uso de modelagem e simulação computacional é considerada melhor alternativa para o desenvolvimento do estudo, pois o seu uso justifica-se quando sabe-se que parar o processo produtivo para estudar e/ou simular a produção, remete a perdas quantitativas e qualitativas para a empresa, relacionadas a produtividade, qualidade e custos.

A Tabela 1.1 mostra os valores aproximados das perdas por paradas da linha em estudo, onde tem-se a apresentação dos custos médios quais formam as perdas por dia da linha parada.

Tabela 1.1 – Perdas pela parada da linha

PERDAS FINANCEIRAS GERADAS PELA PARADA DA LINHA	
CUSTO MÉDIO DO PRODUTO (Matéria Prima)	R\$ 24.950,00
PRODUÇÃO POR DIA	2 UN
CUSTO MÉDIO DA LINHA POR DIA (gastos gerais)	R\$ 12.000,00
PERDAS TOTAIS POR DIA PARADO	R\$ 61.900,00

Fonte: Autor

As perdas são calculadas observando os custos fixos por hora da linha e acrescidos ao custo do produto fabricado nesta etapa do processo, assim projeta-se o custo por dia parado que alcança valores aproximados a R\$62.000,00. Ainda existem perdas de qualidade pela interferência ao planejamento da produção, às quais não são calculadas neste somatório.

1.3 Estrutura do trabalho

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos orientados conforme descrito abaixo:

Capítulo 1: Introdução, na qual define-se as expectativas e tendências do trabalho, a justificativa e os objetivos da dissertação;

Capítulo 2: Revisão bibliográfica, direcionada aos conceitos gerais dos processos de fabricação, de modelagem e simulação aplicadas na tomada de decisão, além de exemplos aplicados a solução de problemas;

Capítulo 3: Desenvolvimento da modelagem e simulação, onde são apresentados os conceitos utilizados para a formulação da lógica de programação e determinação gráfica do modelo;

Capítulo 4: Experimento e análise de resultados, onde são apresentados os dados considerados para a definição e validação do modelo e a modelagem dos cenários teóricos criados como alternativas para a solução dos problemas, bem como as tratativas dos resultados considerando os objetivos já mencionados;

Capítulo 5: Conclusão, onde são expostos os resultados obtidos no estudo e considerações para continuidade da pesquisa com indicações de oportunidade e focos para novos estudos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se as revisões bibliográficas de estudos relacionados a modelagem e simulação. Serão observadas definições de sistemas e aplicações, bem como classificações da simulação e metodologias de aplicação.

2.1 A modelagem e simulação computacional na tomada de decisão e solução de problemas em sistemas produtivos

Esta seção trata os conceitos relacionados a modelagem e simulação computacional e busca apresentar referenciais de estudos que desenvolvem, através destes métodos, análises de comportamentos de cenários práticos e/ou teóricos criados para a identificação de orientações particulares dos sistemas modelados e utilizados na tomada de decisões estratégicas sob o negócio em estudo.

2.1.1 Conceitos de simulação

Conforme Chwif e Medina (2010) a palavra simulação possui diversos significados, dos quais o autor apresenta alguns retirados do dicionário Houaiss, onde refere-se a uma imitação do funcionamento de um processo por meio do funcionamento de outro que toma por ambiente a tecnologia computacional para a realização de teste, experiência e ensaio.

Segundo Pereira *et al.* (2010) é essencial para a simulação a definição do fluxo do processo, onde todas as etapas do mesmo são ordenadas e analisadas e, para cada etapa definida pelo fluxo, segue o levantamento de dados no processo atual. Estes dados são utilizados para validar e calibrar o modelo para simulação, pois os dados são o coração do sistema.

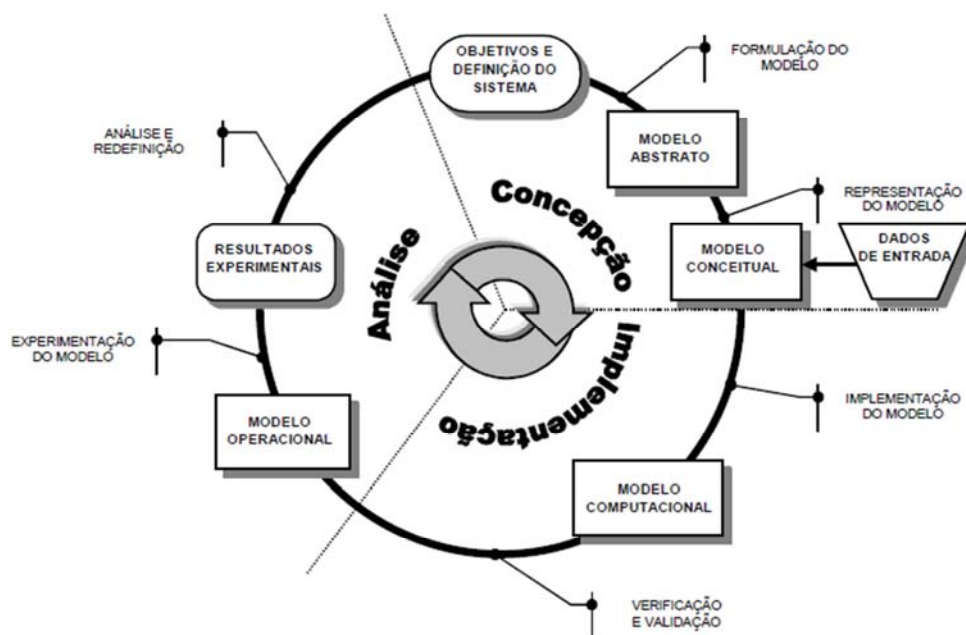
Ainda, conforme o autor, no que tange a elaboração do modelo do sistema real, é importante salientar a dificuldade em se obter informações sobre o processo. Esta é uma característica intrínseca do processo de simulação, porém em casos de projeto de fábrica, há informações praticamente inexistentes, como tempos de ciclo, número de operadores definidos, bem como número de postos de trabalho, rotas de empilhadeiras e etc, nestes será necessário a montagem de cenários que possam viabilizar o estudo e a simulação.

Segundo o dicionário Aurélio a simulação é a técnica de estudar o comportamento e reações de determinados sistemas através de modelos.

Pode-se utilizar como exemplo de simulação, o usado na indústria aeronáutica, onde a aerodinâmica dos aviões em projeto é testada em túneis de vento através de pequenas maquetes do avião.

Em sua tese Chwif (1999), apresenta o que considera o ciclo da simulação, onde estão classificadas as etapas do projeto a ser desenvolvido para o melhor resultado da simulação desejada. Na Figura 2.1 o autor ressalta a ligação do núcleo do projeto considerando a análise, a concepção e a implementação como as divisões das fases macro do ciclo e a elas são ligados os trabalhos a desenvolver, necessários para o processo.

Figura 2.1 – Ciclo da Simulação



Fonte: Chwif (1999)

Segundo Bangsow (2010) a simulação é uma importante ferramenta de planejamento, implementação e operação de sistemas complexos. A simulação encontrou o seu lugar onde os métodos mais simples já não fornecem resultados úteis para a manutenção da confiabilidade do mercado consumidor.

Para o autor, a simulação pode ser utilizada em qualquer etapa ou fase do sistema produtivo, desde o planejamento, a implementação e até na operação.

Para a simulação, o autor recomenda a abordagem quanto a estruturação do projeto de simulação realçando a formulação do problema como fator essencial e, seguido à esta formulação, destaca a necessidade da realização de testes para a simulação, considerando uma coleta de dados eficiente para uma modelagem adequada.

Considera-se que a simulação necessita de objetivos focados para gerar resultados confiáveis e permitir boa análise e interpretação dos mesmos ao final das avaliações.

Estas fases possuem características específicas para observação e pontuação no momento da análise final e orientação dos resultados. Desta forma, deve-se formular a simulação e os seus requisitos num trabalho em equipe.

A fase de testes da simulação resulta da análise da necessidade e complexidade das decisões a serem tomadas e, desta forma, dá-se a formulação dos objetivos organizando os dados necessários para o processo de simulação.

Em paralelo aos dados define-se o método da modelagem e a construção e teste do modelo para, em seguida, executar as simulações, análise de resultados e documentação dos resultados alcançados.

Chang e Makatsoris (2006) citam algumas vantagens de se utilizar simulação, onde consideram-na como um auxílio a entender o processo e suas características dentro da cadeia de suprimentos que proporciona redução de riscos às mudanças de planejamento devido a alterações na demanda programada.

Eles também expõem vantagens relacionadas a possibilidade de investigações quanto aos impactos em implantações de novas tecnologias, bem como análise de infra estrutura visando a adequação às novas realidades da cadeia de suprimentos.

2.1.2 Conceitos de modelagem

A modelagem, mais especificamente a modelagem para simulação, é uma construção ou representação de um sistema real, mas de forma simplificada, nas interações entre as partes, ou operações a que este sistema foi desenhado (CHWIF e MEDINA 2010).

Os autores ressaltam que o modelo não deve ser mais complexo do que o sistema em estudo, pois a simulação e análise dos resultados devem ser possíveis de entender. Quando o sistema é construído de forma muito complexa, torna-se muito difícil sua interpretação e os resultados podem ser errôneos.

Ao modelar, deve-se assumir as características essenciais e principais do sistema em estudo, capturando o que realmente é importante para a finalidade proposta.

Conforme Chwif e Medina (2010) os modelos são divididos em três categorias: os simbólicos, os matemáticos e os de simulação.

Para melhor entender as categorias, faz-se uma breve apresentação:

Modelo simbólico: composto por símbolos gráficos, são modelos estáticos como fluxogramas ou fotos. Suas grandes limitações são a falta de elementos quantitativos, como desempenho do sistema, por exemplo.

Modelo matemático: identifica-se por um conjunto de fórmulas matemáticas, como programação linear, não apresentam soluções analíticas para sistemas complexos. Sua solução é rápida e exata.

Modelo de simulação: consegue capturar com mais fidelidade características de naturezas dinâmicas e aleatórias dos sistemas reais: permite repetir em computador o mesmo comportamento do sistema quando submetido às mesmas condições.

O Autor Freitas Filho (2008) descreve motivos para que uma organização modele sua estrutura como viabilizadores de avaliação da organização em condições de mudanças no intuito de melhorar a satisfação dos clientes, melhorar lucratividade e aumentar a satisfação dos acionistas. Estas mudanças estão também correlacionadas a melhoria de qualidade, redução de ciclo de produção e redução de custos.

Para ele, as influências externas também podem ser fatores determinantes para a mudança a exemplo da legislação ou mesmo tendências econômicas. Ainda, são contribuintes as influências tecnológicas que evoluem rapidamente e transformam o mercado.

2.2 Linguagem de Simulação Computacional

Software FlexSim

Segundo FlexSim (2016) o *software* foi construído a partir do zero para se beneficiar das avançadas visualizações em 3D dos dias de hoje. Possibilita gerar objetos em um mundo virtual, criar relacionamentos espaciais no modelo para imitar o sistema o mais próximo possível do real, permite incluir formatos 3D e layouts de CAD personalizados.

O *software* de simulação é usado em diversas áreas como:

- Produção industrial;
- Logística e distribuição;

- Transporte;
- Outros como: Campo de óleo ou do processo de mineração, rede de fluxo de dados, etc.

Ainda o *Software* utiliza design orientado ao objeto onde estão definidos e programados em quatro classes:

- Classe fixa de recursos;
- Classe executor de tarefas;
- Classe nó;
- Classe objeto visual.

O autor também ressalta que, quanto aos controles de desenho, os usuários podem construir o modelo, arrastando e soltando os objetos 3D predefinidos captados a partir de diferentes classes de layout, interligar fases e tornar o modelo funcional.

Software Tecnomatix Plant Simulation

Conforme Siemens (2016) o *software* é uma ferramenta de simulação que auxilia a criar modelos digitais de sistemas lógicos, como ambientes de processo, a fim de explorar suas características, desempenho e fragilidades ou potencialidades.

Com a ferramenta é possível definir cenários e analisá-los sem custos ou alterações em qualquer estrutura da fábrica, mão de obra, programação, entre outros, evitando situações indesejadas e gastos ou investimentos inadequados.

A utilização do *software Tecnomatix Plant Simulation* permite otimizar os recursos de produção e a logísticas de processos permitindo analisar sistemas simples e complexos utilizando mecanismos de controle para análise de pontos críticos.

Os resultados fornecem as informações necessárias para tomar decisões rápidas e confiáveis nos primeiros estágios do planejamento da produção.

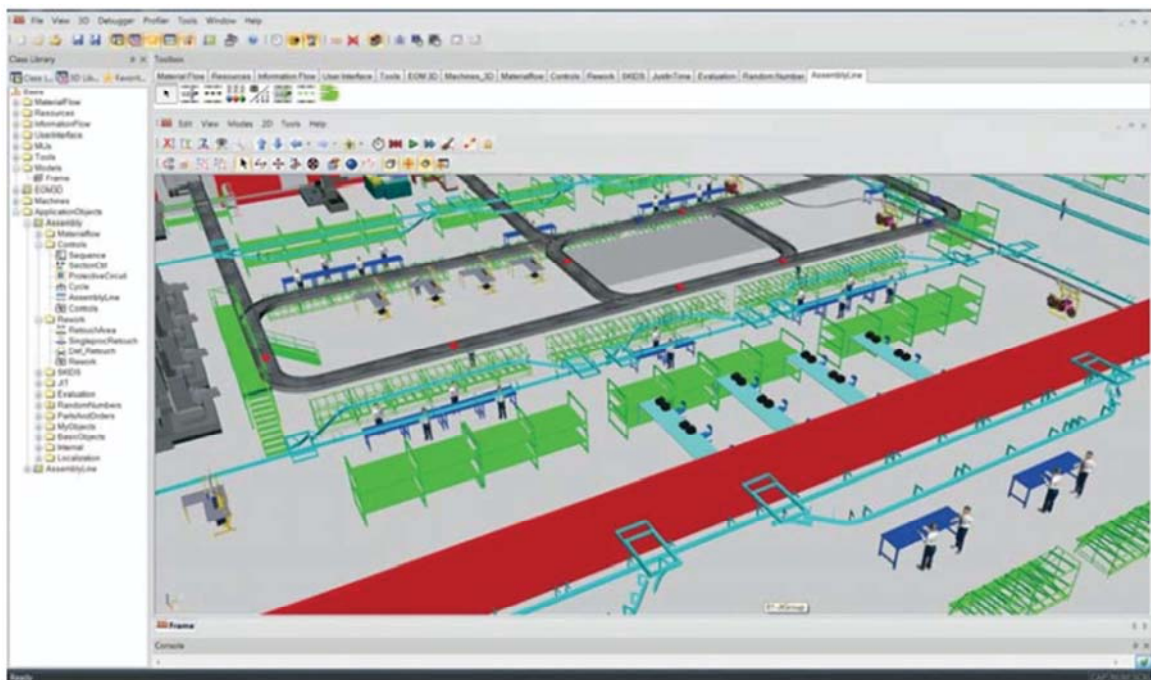
O autor Bangsow (2010) expõem algumas características do *software* que podem ser destacadas como:

- Análise automática de resultados de simulação;
- Análise para aperfeiçoar o desempenho das linhas de produção;
- Análise de custos, com a possibilidade de redução de investimentos às linhas de produção, sem perdas de produtividade;
- Programação orientada por objetos onde o programador cria sua biblioteca;
- Abertura para importação de dados de outros sistemas como Excel;

- Possui ferramentas para análise de gargalos;
- Permite integração de dados de *layout* do AutoCad, *FactoryCad*, etc.

A área de trabalho do *software* possui um layout padrão e sua configuração pode ser alterada pelo menu acessando as ferramentas de trabalho. Este ambiente é apresentado na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Área de trabalho do *software*



Fonte: Siemens

Acessando o menu é possível localizar os principais objetos da biblioteca de montagem.

A partir destes elementos é possível desenvolver o modelo e configurá-lo de acordo com os dados desejados para análise dos resultados.

Software Arena

Segundo Arena (2016) o *software* de simulação de processos potencializa compreender o impacto das suas decisões antes de sua realização.

Conforme o autor, os processos existem em todos os tipos de organização, independentemente do tamanho ou setor, se eles estão claramente definidos e otimizados em uma base regular, o *software*, sem dúvida, irá contribuir para o sucesso global da empresa.

Simulação ou modelagem de um processo específico permite analisar e tomar decisões sobre como melhorar esse processo. Através do *software* de modelagem de processo é possível conseguir resultados bem antes de quaisquer repercussões financeiras.

O autor também ressalta que a simulação de processos fornece a capacidade de responder às seguintes perguntas:

- Como podemos alcançar nossos objetivos de desempenho?
- Quando devemos aumentar ou reduzir os recursos?
- Qual será o impacto de fazer essa mudança operacional?
- Como posso demonstrar minhas descobertas para a organização?

Ainda destaca que a modelagem de processos fornece a capacidade de:

- Gerar gráficos dos fluxos atuais de processo, mesmo para o mais complexo dos processos;
- Observar, analisar e entender melhor o comportamento do processo e fluxos de trabalho;
- Prever melhor um novo design ou o desempenho do sistema, o tempo de resposta, e gargalos;
- Avaliar o impacto das taxas de insucesso;
- Mudar ou melhorar a forma como os sistemas são configurados e tarefas são executadas;
- Criar modelos para descrever a melhor maneira de levar a cabo processos específicos;
- Alternativas de teste para determinar quais são os melhores para o negócio;
- Demonstrar resultados tanto visualmente e quantitativamente para melhorar a aceitação e a compreensão das decisões.

O *software* de simulação Arena permite criar modelos de processos com a inteligência necessária para reduzir custos, medir o desempenho e otimizar suas operações de negócios. Sua facilidade de uso e flexibilidade auxiliam a modelar qualquer aspecto da empresa, as ferramentas de relatórios melhoram as apresentações e ajudam a tomar as melhores decisões sem a necessidade de tempo, recursos ou investimentos de grande impacto.

Software ProModel

Segundo ProModel (2016) o *software* é uma tecnologia de simulação de eventos discretos usado para planejar, projetar e melhorar sistemas de manufatura, logística e outros sistemas operacionais novos ou existentes.

O *software* permite:

- Representar com precisão processos reais, incluindo a sua variabilidade e interdependências inerentes, a fim de realizar a análise preditiva em mudanças potenciais e otimizar o sistema em torno de seus indicadores chave de desempenho.
- Visualizar e criar um modelo dinâmico, animado por computador, do seu ambiente de negócios a partir de arquivos CAD, processo ou mapas de fluxo de valor, ou modelos de processo de simulação.
- Ver e entender os processos atuais e as políticas em ação.
- Analisar utilizando o modelo para identificar possíveis mudanças e desenvolver cenários para testar melhorias que permitam alcançar os objetivos de negócios.
- Executar cenários independentemente um do outro e comparar os seus resultados na saída.
- Otimizar e testar o impacto das mudanças nas operações atuais e futuras, sem riscos, com comparações de cenários preditivos.
- Determinar o desempenho do negócio ideal com uma alta probabilidade de atender seus objetivos de negócio.

Segundo o autor o *ProModel* fornece aos tomadores de decisões a oportunidade de testar novas idéias para o processo e sistema de concepção ou aperfeiçoamento antes de comprometer tempo e recursos necessários para construir ou alterar o sistema atual.

O *software ProModel* se concentra em questões tais como:

- Utilização de recursos
- Capacidade do sistema
- Melhoria de processos
- Processamento e análise de gargalos
- Cadeia de suprimentos e Logística
- Níveis de serviço ao cliente

Modelando os elementos importantes de um sistema de manufatura, logística ou serviço, os líderes podem experimentar estratégias operacionais diferentes para obter o desempenho ideal para as suas organizações.

2.3 Conceitos de produção

O autor Toledo Junior (2007), quando trabalha o assunto relacionado ao balanceamento de linhas, define balancear linhas como nivelar os tempos de uma linha de produção ou montagem, dando a mesma carga de trabalho às pessoas ou máquinas em um fluxo de fabricação. O balanceamento busca a eliminação de gargalos e esperas para proporcionar o máximo de produtividade e eficiência.

Toda empresa trabalha com objetivo de nivelar sua produção de acordo com sua demanda, aproveitando todos os seus recursos e reduzindo seus custos mantendo a melhor qualidade possível. O balanceamento é, pois, o parâmetro mais importante para a racionalização industrial.

O autor ainda destaca que alguns dos principais objetivos do balanceamento são as melhorias da produtividade e eficiência atreladas ao aumento da produção e redução da mão de obra, ainda visa a melhoria do *layout* e o melhor aproveitamento do homem e da máquina alinhando ritmos de trabalho e facilitando os controles de produção e processo.

O autor Toledo Junior (2007), quando trabalha o assunto produção, produtividade e eficiência, define produtividade como a atividade de produção a qual pode ser medida em relação a um parâmetro ou padrão de trabalho que resulta em um percentual. Desta forma ressalta que um aumento de produção não caracteriza aumento de produtividade pois este fator pode apenas ter ocorrido por uma mudança no padrão de trabalho e não se manterá no futuro.

Desta forma define produção como o resultado da execução de um trabalho qualquer e produtividade como a relação entre o que se produz e o que deveria ser produzido. Ainda ressalta a eficiência como sendo similar a produtividade, mas esta considera a mão de obra indireta aos méritos do cálculo.

O autor Toledo Junior (2007), ao trabalhar os assuntos relacionados a planejamento, programação e controle de produção, destaca esta área da administração como a que dita as normas à produção ordenando e ritmando o fluxo e os processos. Destaca que é o setor

responsável pelo bom andamento de todo o organismo industrial, sendo que a desorganização e a falta de objetivos afetará sua meta principal, o lucro.

Ainda destaca que a esta área é necessário prover de todas as suas necessidades, sejam elas técnicas ou de materiais, capacitando-a a desempenhar sua missão.

Como objetivos a esta área se destaca a normalização do processo produtivo determinando-se o que e quando realizar a tarefa utilizando, desta forma, a total disponibilidade de mão de obra e instalações disponíveis para que se façam cumprir prazos e demandas.

O autor Toledo Junior (2007), ao trabalhar o contexto de carga máquina e carga de mão de obra, define a carga de mão de obra como a quantidade de pessoas necessárias para a execução de determinada tarefa em um determinado tempo. Os objetivos do cálculo desta carga, segundo o autor, estão relacionados a determinar a correta necessidade da mão de obra, também a manter os custos do produto a um determinado padrão, além de facilitar a distribuição do pessoal e o controle quanto ao programa de produção.

A carga de mão de obra é determinada pelo seu tempo padrão e pelo programa de produção no período, onde o tempo padrão é calculado para a operação a ser executada. Também outros fatores influenciam na carga sendo o absenteísmo, o refugo, a produtividade e a eficiência da fábrica os de maior relevância.

A definição de carga máquina é relacionada ao quanto um equipamento está ocupado em produção em um determinado período. Os objetivos deste cálculo estão relacionados a determinação de capacidade do equipamento quanto a necessidade de produção, também a total utilização do equipamento e/ou a análise de sua utilização, ainda facilita a determinação do grau de eficiência e o seu bom ou mau aproveitamento.

Os fatores que influenciam na determinação da carga máquina são o tempo padrão das operações e o programa de produção.

O autor Toledo Junior (2004) trabalha o assunto referente a tempos e métodos onde destaca este estudo como a análise dos métodos, materiais, ferramentas e instalações utilizadas na realização do trabalho onde esta análise tem por finalidade encontrar a forma mais econômica de executar o trabalho, também padronizar os métodos e meios para a fabricação, ainda determinar o tempo exato para a realização do trabalho e ajudar a aprendizagem da mão de obra a novos métodos.

Destaca a necessidade de conhecer o sequenciamento dos processos e seus tempos padrões para a alimentação correta de áreas como o planejamento e programação da

produção, cálculo de necessidades de mão de obra, carga máquina, entre outros, por isso ressalta a importância em se compreender realmente o que e como se deve medir e registrar para formalizar informações dos processos de fabricação.

O autor Oliveira (2008) apresenta os termos e conceitos da manufatura enxuta, com base no sistema Toyota de produção, bem como a origem do termo manufatura enxuta.

O autor também mostra os desperdícios mais comuns encontrados em um sistema de manufatura *Lean*.

Ainda descreve técnicas aplicadas ao estudo e desenvolvimento dos processos produtivos, como exemplo: *Just in Time (JIT)*; Sistema Puxado; *Kanban*; Controle Visual; Troca Rápida de Ferramentas (*Set up*); Balanceamento das Linhas de Produção; Manufatura Celular; Manutenção Produtiva Total, etc.

Caracteriza o conceito de simulação computacional, as suas vantagens, linguagem e seus *softwares*. Faz a justificativa da simulação em projetos da manufatura e identifica e descreve as sete etapas para o uso da simulação.

Conclui que a simulação se baseia nos conceitos de fila e tempos de serviço e que a sua utilização dará à alta e média gerência a base para a tomada de consciência consciente e consistente, acabando com os altos custos dos projetos realizados por tentativa e erro de experiências diretas.

2.4 Estudo e aplicação da modelagem e simulação

Nesta seção são demonstrados exemplos de estudos de projetos que utilizam como referência a modelagem e simulação, sejam estes na linguagem matemática ou computacional, para avaliação de cenários, modelados a partir da orientação prática ou teórica de sistemas, onde busca-se o entendimento do sistema e a observação de suas particularidades.

2.4.1 Uso da modelagem matemática

Os autores Walter *et al.* (2013) fazem uma análise comparativa utilizando ferramentas matemáticas para o controle de um processo industrial, onde inicialmente utilizam o gráfico do tipo Shewhart.

O objetivo do trabalho é buscar opções para o controle utilizando outros gráficos. Neste caso, desenvolvem o estudo comparando com o gráfico CUSUM e ainda utilizam um gráfico combinado Shewhart-CUSUM.

Sabe-se que o gráfico de CUSUM exige mais tempo de elaboração do que os gráficos convencionais, pois fornece muito mais informações. Os gráficos de CUSUM detectam pequenas mudanças em dados com muita rapidez e podem ser usados para o controle de variáveis e atributos.

Já os gráficos de Shewhart são simples onde a regra de decisão baseia-se apenas no exame do último ponto observado onde ignora as informações dadas pela sequência anterior de pontos do gráfico, desta forma o torna insensível a pequenas mudanças no processo em avaliação.

Após o desenvolvimento dos trabalhos e aprimoramento das ferramentas sugeridas, as mesmas apresentam resultados satisfatórios, salientando que ambas as propostas de gráficos de controle CUSUM e/ou Shewhart-CUSUM apresentam possibilidades de detectar interferências no processo, às quais não haviam sido identificadas na aplicação do gráfico do tipo Shewhart unicamente. Desta forma, consideram ambos como ferramentas preventivas mais sensíveis para avaliar interferências na qualidade do processo.

Os autores Almeida *et al.* (2013) utilizaram simulação matemática para identificar particularidades no transporte e carregamento de soja nos portos brasileiros, peruanos e chilenos com destino à exportação para a China. Para as simulações, os autores utilizaram os softwares Lingo (versão 9.0) e o *Microsoft Excel* (versão 2007) e executaram os experimentos tomando por base três cenários, sendo como critério utilizado, a divisão oceânica.

As conclusões obtidas, sob as análises dos dados retirados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), pontuam para a necessidade de melhorar a estrutura dos portos brasileiros, melhorar o sistema de escoamento térrico até os portos devido aos altos custos e considerar necessariamente como rotas alternativas os portos dos países vizinhos inclusos nas simulações.

Os autores Zulch e Becker (2010) estudam o processo integrado para o planejamento de recursos para os procesos de fabricação, bem como recursos em mão de obra. Fazem referência a duas lógicas de desenvolvimento da estrutura de planejamento, uma planeja recursos em equipamentos e recursos de mão de obra em separado, como tarefas distintas, e a outra planeja os recursos em uma única tarefa.

Em seguida expõem as etapas do planejamento ou modelagem das áreas e fases específicas do processo de fabricação como, a programação de ordens de manufatura, configurações de máquinas, estrutura de mão de obra, entre outras. Neste contexto apresentam a modelagem por algoritmos para analisar a proposta e criar uma nova matriz de recursos em estrutura e mão de obra.

Após realizam um estudo de caso para aplicação prática do modelo. O estudo é realizado considerando um sequenciamento de processos de fabricação que possuem áreas como estamparia, usinagem e acabamento superficial, além de locais com processos manuais.

Como resultado apresentam comparativos entre a estrutura antiga e a nova onde observam orientações planejadas pela simulação expressando ganhos em tempo de processo, utilização de máquinas e equipamentos, bem como participação da mão de obra. Desta forma prova as potencialidades da aplicação da análise virtual para o refino dos recursos e processos.

2.4.2 Uso da simulação computacional

O autor Santos (2011) realizou estudo em uma linha de produção de televisores, onde utilizou a ferramenta de simulação computacional para análise da produtividade da linha e o estudo de melhoria dos resultados na produção. A ferramenta utilizada foi o *software Tecnomatix Plant Simulation* e possibilitou o desenvolvimento do modelo para a simulação teórica, obtendo resultados de melhoria, pós aplicação, de 6,6 % na produção final. O autor destaca as facilidades no uso da ferramenta e salienta ainda possuir sistemas a implantar as alterações diagnosticadas pela simulação podendo melhorar ainda mais os resultados da fábrica.

O autor Zampieri Junior (2009), em sua dissertação, estuda o uso da simulação como ferramenta de apoio para análises de processos e seus respectivos ganhos, bem como ressalta a importância da ferramenta aos gestores, como apoio para a tomada de decisões quanto a investimentos e melhorias de processos produtivos.

O autor realizou um estudo de caso, onde o layout de uma determinada linha foi simulado e vários cenários foram testados, a fim de identificar a melhor alternativa de organização da estrutura da fábrica para a redução de ociosidade e aumento da produtividade. Por fim, validou os resultados, comprovando que há possibilidade de redução de recursos com incremento de produtividade. Desta forma, reafirma a utilização da ferramenta de simulação como meio para a análise de investimentos e incrementos nos processos produtivos.

Os autores Andrade *et al.* (2012) realizaram estudos dos gargalos em uma empresa produtora de gelo e as potencialidades da aplicação da ferramenta de simulação para a busca por alternativas de melhoria. Neste estudo de caso, o objetivo é o atendimento a demanda dos clientes e a simulação foi desenvolvida mediante a identificação do gargalo do processo. Foram criados os cenários simulados, com a finalidade de validar o aumento de produtividade predefinido pelo fabricante, validando a eficácia da ação sobre o gargalo.

No artigo, os autores Prereira *et al.* (2010) estudam a aplicação de uma ferramenta de simulação, neste caso utilizam o *software Tecnomatix Plant Simulation*, para o estudo de uma fábrica de fundição de blocos de motores, onde o objetivo destacado foi definido em aumentar a confiabilidade na tomada de decisões para a disposição de *layouts* e aquisição de equipamentos. Foram simulados cenários considerando variações na utilização dos recursos e, através da análise dos resultados, pôde-se definir a melhor distribuição do layout e a melhor relação custo benefício para o planejamento do investimento inicial.

O autor Chwif (1999) realizou pesquisa para idealizar uma forma de desenvolver as simulações utilizando modelos de menor complexidade para melhorar a agilidade no desenvolvimento e geração de resultados, sem perdas nos resultados encontrados. O trabalho foi desenvolvido a partir dos estudos de casos e concluiu que é possível efetuar a redução do modelo de simulação, desde que utilizando técnicas de redução, as quais desenvolvem-se considerando parte dos objetivos da simulação e acrescentando-se de algumas hipóteses relevantes adicionais, determinando então todas as suas variáveis de interesse e eliminando parte do modelo que não afeta os objetivos em questão.

Após as análises realizadas no projeto, o autor ressalta que alguns modelos não permitem a redução por terem todas as suas variáveis consideradas importantes, isso exige uma análise mais profunda do problema, pois sugere que este possa ser repensado e permitir, desta forma, reduções nos modelos para então analisá-lo do modo simplificado.

O autor Brighenti (2006) estuda em sua dissertação a aplicação da simulação nas definições de desenvolvimento de uma fábrica do ramo de autopeças na fase de projeto e expõe que esta é a melhor oportunidade para se modelar a necessidade e simular o processo, a fim de definir recursos necessários ao atendimento da expectativa lançada ao projeto. Nesse estudo utilizou o *software ProModel* como simulador e seu objetivo foi validar o método através de comparativos com a sistemática tradicional de planejamento, a qual não utiliza ferramenta computacional.

Como resultado da simulação, os dados coletados foram significativamente diferentes dos planejados convencionalmente, principalmente na aplicação de mão de obra e na produtividade, apresentando alteração de -4,5% e + 4% respectivamente. Ressalta que o uso da ferramenta, permitiu, além da melhor competitividade, a visualização do sistema em forma gráfica, o que facilitou o entendimento e análise dos dados.

Os autores Almeida, Costa, *et al.* (2006) em seu trabalho de simulação realizaram estudo de balanceamento de uma célula de montagem em uma fábrica de calçados com o objetivo de validar o uso da ferramenta de simulação, neste caso o *software* Arena foi utilizado para o estudo de impactos no processo produtivo e em redução de custos e ganho de tempos no processo.

Os autores iniciam o estudo avaliando a célula onde a mesma possui oito operações às quais são modeladas e os tempos de processo padrões da linha são inseridos no modelo para simulação. Ressalta-se que o sistema atual de balanceamento da linha utiliza os dados de produção prevista fornecidos pelo setor de planejamento de produção da empresa e os tempos padrões são orientados pelo setor da engenharia industrial. Através da avaliação destes dados é definida a necessidade de mão de obra para a célula.

Após a geração do modelo, sua valiação e a criação e simulação de cenários para a análise e resolução dos problemas da linha, os autores destacam como melhor cenário o que sugere a inclusão de dois operadores no processo produtivo, em operações ditas “gargalo”, e apresentam um aumento da capacidade de produção em aproximadamente 19%.

Ainda fazem referência à importância do uso da simulação computacional na tomada de decisões, salientando as facilidades de visualização do processo e suas particularidades a um custo relativamente baixo.

Os autores Meirelles, Meirelles, *et al.* (2009) realizaram estudo de caso aplicado a uma fábrica de refratários com o objetivo de validar uma proposta de *layout* para a área de fabricação. Para tal o *software* de simulação Arena é utilizado.

O estudo inicia com o dimensionamento dos produtos a serem processados onde são classificados em trinta e quatro tipos que pertencem a quatro famílias que se diferenciam pela composição da matéria prima e dimensões finais. Estes produtos correspondem a 80% da produção da indústria.

Complementando as etapas de orientação e levantamento de dados para a modelagem, os autores definiram o fluxo de produção e utilizaram os tempos padrões de processo para a modelagem.

Após foram criados os modelos para as simulações de cenários alternativos ao processo. Dentre os cenários simulados o que apresentou melhores resultados abteve redução de 51% no indicador de produção que referencia quantidade de peças x distância percorrida x peso, este resultado representa menor tempo de atravessamento e menor utilização de empilhadeiras, nesta utilização houve redução de aproximadamente 30%. Também obtiveram melhor fluxo de peças nos processos.

Os autores destacam ainda que os resultados diferem daqueles previamente considerados pela empresa quando realizada a prospecção futura para o negócio sem o uso da ferramenta de simulação.

Outras conclusões referenciam as informações de produção e fluxo de processo pois o *layout* é fundamentado na capacidade de produção desejada, ou existente, também é totalmente dependente do fluxo e das operações de produção das peças, por isso, para avaliação mais acertiva em relação às instalações e estruturas de produção, é importante obter e utilizar informações muito bem embasadas.

Os autores Moreira e Pitombeira Neto (2010) realizaram estudo de caso em uma empresa de beneficiamento de castanha de caju com o objetivo de avaliar o *layout* do setor de embalagens. Para o estudo utilizaram o *software* de simulação Arena.

Inicialmente o *layout* atual é avaliado para obtenção dos dados de fluxo e processo, identificando problemas como a distância inadequada entre máquinas no processo produtivo e outros.

Realizaram a coleta de dados de localização, movimentações e tempos de processo para a modelagem e criação dos cenários para a avaliação do novo *layout*. Após os modelos gerados e as simulações realizadas, considerando as alterações propostas, obtiveram resultados positivos quanto às filas de material em espera por processamento, onde alcançaram valor aproximadamente 13% menor no *layout* proposto. Também conseguiram redução da distância percorrida pelo operador em aproximadamente 52%, reduzindo também a utilização do transportador, sendo possível utilizá-lo em outras atividades fabris.

Os autores complementam as conclusões ressaltando a importância do uso da simulação no estudo, pois permitiu alterações e avaliações visuais de condições de processo e *layout* sem custos de alterações físicas ou uso de equipamentos e mão de obra.

Os autores Trasatti e Portelina (2014) realizaram estudo de caso em uma linha de produção do setor automotivo com o objetivo de verificar a eficiência energética da linha e buscando possíveis alternativas de melhoria.

Para a análise é utilizado o *software* de simulação *Tecnomatix Plant Simulation* e a modelagem é realizada utilizando os dados coletados na linha em operação. Nesta linha as operações são realizadas por vinte e duas máquinas que produzem quatro diferentes produtos com tempos de manufatura específicos.

Para o estudo são modelados três cenários onde são simulados 30 dias de produção para a análise dos resultados.

Conforme os resultados discutidos pelos autores, as análises norteiam para uma alteração de *layout* da linha com a retirada de três máquinas, também propõe a redução de um colaborador.

Com as alterações obtiveram acréscimo de produção de aproximadamente 20% e um ganho no custo energético por peça de aproximadamente 11,2%. Desta forma concluem que, com o uso da simulação, torna-se possível o desenvolvimento de processos mais eficientes com menores mudanças no chão de fábrica, também os modelos de simulação permitem ampla compreensão do sistema de manufatura.

O autor Lorenzi (2014) realizou estudo de caso em uma fábrica de eletrônicos com o objetivo de verificar e avaliar a produtividade no processo de montagem. Para a verificação e simulação utilizou o *software Tecnomatix Plant Simulation*.

O processo analisado possui uma linha com dezessete postos de montagem, cinco postos de testes e dois postos de embalagem, o sistema de produção é empurrado e em fluxo contínuo, sendo que o meio de alimentação é por esteira.

Durante o desenvolvimento do estudo algumas observações sobre o processo foram destacadas como a falta de separação de processos considerados internos de outros considerados externos. Como exemplo citam itens que demandam pré montagem.

Também evidenciaram a dificuldade de observar os trabalhos padronizados, excesso de movimentação, entre outros.

Como resultados, o autor destaca a implantação de grupos de produção onde subdividiu as operações de produção e processo e também padronizaram lotes para a pré montagem. Ainda destaca resultados quantitativos na produtividade entre 8,7 a 9,1 peças/hora homem.

O autor ainda referencia a importância do uso do *software* de simulação para o desenvolvimento da modelagem e avaliação da linha de produção.

O autor Gausmann (2014) realizou estudo de caso em uma fábrica de sistemas de armazenamento e limpeza de grãos com o objetivo de simular duas linhas de perfilamento de

chapas para verificação comparativa de produção entre o sistema atual e um sistema novo proposto. A simulação é realizada com o uso do *software Plant Simulation*.

Inicialmente os processos atuais são avaliados e estudados para a coleta de dados para a modelagem, após a modelagem foi desenvolvida onde foram considerados os tempos de fabricação do processo atual, para a modelagem do mesmo, e os valores teóricos de tempos de processo fornecidos pelo fabricante das novas máquinas, para a modelagem do processo novo. Então são realizadas as simulações e as comparações dos resultados.

Em suas conclusões o autor observa ganhos em capacidade produtiva aproximada a 75% na linha 01 e 42% na linha 02. Também observou uma redução de área para estoque em processo, reduções de custo de processo e aumento de produtividade em ambas as linhas.

O autor ainda complementa reafirmando a importância do uso da ferramenta de simulação neste estudo pois fortaleceu a tomada de decisões quanto ao investimento em equipamentos novos e alterações da planta fabril.

Os autores Soares, Beltrame, *et al.* (2010) realizam estudo de caso em uma indústria do ramo automotivo com o objetivo de avaliar o potencial de utilização dos recursos operacionais e o *layout* da linha de produção.

Para o estudo os autores utilizam o *software* de simulação *Promodel* onde realizam a modelagem de cenários para as avaliações de alterações de *layout*, fluxo e balanceamento da linha.

Os dados são coletados através de cronoanálise da linha em operação e utilizados no modelo para validação e posterior avaliação de propostas de melhoria. Após a modelagem ser realizada, os cenários são desenvolvidos e as simulações executadas, desta forma os resultados teóricos são avaliados e comparados aos práticos para formulação das conclusões.

Os autores destacam como resultados, a potencialidade da linha em produzir a demanda em apenas dois turnos, reduzindo-se um turno de produção atual, citam também eliminação de estoque em processo e de tempos ociosos dos operadores. Ainda citam melhorias em relação aos tempos e utilização de recursos.

Complementando as conclusões, os autores reafirmam a importância do uso da simulação para a visualização e compreensão do sistema produtivo facilitando a percepção da equipe quanto ao funcionamento da linha atual e da proposta.

Os autores Lu e Wong (2007) apresentam análise comparativa entre o *software* de simulação *ProModel* e outra plataforma em desenvolvimento que realiza a modelagem sob uma abordagem simplificada de simulação de eventos discretos. O *ProModel* é utilizado para

testar e validar este novo *software* chamado pelos autores de SDESA o qual pretendem utilizar no meio da construção civil.

Inicialmente os autores conceituam as ferramentas de simulação e suas metodologias e após caracterizam a construção civil versus a manufatura, onde definem como sistemas de manufatura o sequenciamento de processos realizados em postos de trabalho podendo ser chamados de linhas de produção, onde as partes são produzidas e transportadas por sistemas manuais ou automáticos. Ao definirem construção civil descrevem ser um negócio orientado para o projeto de produtos únicos e seu resultante produzido é estacionário, enquanto as instalações de produção são móveis.

Os autores também apresentam a sequência para programação ou modelagem utilizando os *softwares*.

Após realizam estudo de caso modelando uma tarefa de concretagem a fim de analisar a movimentação no trabalho e o resultado comparativo entre as simulações. Estes resultados apresentaram diferença estatística menor que 5% em algumas fases do processo, o que valida o *software* em teste, mas encontraram variações elevadas em uma situação simulada onde o *software ProModel* apresentou resultado de trabalho de 63% e o *software SDESA* apenas 19,9%. Neste caso os autores ressaltam uma possível leitura incorreta de dados realizado pelo *ProModel* em relação ao tempo de espera pela disponibilidade de um guindaste, onde este tempo foi considerado como de ocupação da mão de obra. Em suas conclusões ressaltam que o novo *software* é desenvolvido para ser mais flexível e direto na abordagem dos sistemas de construção em termos de fluxo de trabalho, tempos de movimentação e modelagem de vários elementos, bem como redução de esforços em aprendizagem e tempos para aplicação, mas destacam que as comparações feitas não são para mostrar superioridade de um sistema ou outro, ao contrário, tem objetivo de orientar os profissionais a diferenciar e selecionar as ferramentas adequadas para a modelagem.

Os autores Oliveira, Corrêa e Nunes (2013) realizaram estudo de integração da metodologia de mapeamento de fluxo de valor (MFV) a um modelo de simulação computacional, com o objetivo de avaliar a melhoria em um sistema produtivo para fins de acomodar novos produtos no processo produtivo. O estudo utiliza o *software* de simulação Arena como base de desenvolvimento.

O processo produtivo em estudo é de embalamento automático de diversidades de insumos e, com a necessidade de implementar novos produtos, buscam identificar possíveis gargalos e outros impactos gerados pelo novo cenário.

Os autores desenvolveram um modelo por meio do método determinístico devido a grande quantidade de variáveis do processo produtivo.

A partir do modelo construído foram criados vários cenários para a avaliação das limitações atuais e futuras da linha.

Os autores destacam que o MFV é construído no ambiente do *software* de simulação, facilitando a integração de ambos.

Como resultados identificam, após algumas adequações sugeridas para determinadas máquinas e processos, uma redução de 27% no *lead time* de produção e também complementam destacando os bons resultados da integração entre o *software* e o MFV.

Os autores Caputo, Gallo e Guizzi (2009) realizaram estudo para elaboração de um modelo de simulação com o objetivo de avaliar a capacidade dos recursos na manufatura, visando minimizar custos de estoque e *setups*. A ferramenta utilizada para a modelagem e simulação foi o *software* Arena.

Inicialmente os autores conceitualizam o estado da arte da organização da produção e logística em termos de evolução tecnológica e de qualidade nos processos, bem como a inclusão de *softwares* de apoio a gestão e aos controles de produção.

Após apresentam conceitos referenciais aos *softwares* de controle de produção e também comentam sobre a importância da simulação no contexto da avaliação do processo.

Na sequência do trabalho os autores expõem a proposta de simulação aplicada em uma indústria de geradores de energia. Eles desenvolvem o modelo referenciado pelo *layout*, sua sequência e demais recursos associados. Após o modelo desenvolvido e as setorizações de produção organizadas as simulações são realizadas.

Destaca-se que foram desenvolvidas duas matrizes para a otimização do modelo e algumas equações matemáticas para o gerenciamento de funções específicas no modelo, como minimização de custos e orientação de soluções específicas à gestão da manufatura.

O autor Abed (2008) realizou estudo e avaliação em uma empresa de processamento de alimentos com o objetivo de buscar alternativas para o aumento da taxa de produção da linha. O *software* Arena foi utilizado para a modelagem e simulação.

Inicialmente o autor relata a descrição do processo onde aproximadamente cinquenta e seis atividades compõem a linha de produção e dezessete destas são consideradas em seu estudo, pois são estas que influenciam diretamente na produção, ou seja, são tarefas principais.

Após definiu alguns objetivos para o desenvolvimento da modelagem e simulação, sendo o principal, a modelagem de cenários para avaliar a melhoria da capacidade produtiva.

Os modelos foram criados atendendo às características dos cenários propostos e, com as intervenções propostas ao processo, obteve-se resultados expressivos à produção, como aproximadamente 49 % de acréscimo a capacidade diária de produção e aproximadamente 11% de redução no tempo de processo.

O autor salienta que, para estes resultados, há necessidade de incremento de duas novas máquinas na linha de produção havendo o adicional de custos a ser considerado. Em sua avaliação avaliou previsão de abatimento do custo adicional, considerando o resultado da produção, em aproximadamente 35 dias.

O autor ainda considera em suas conclusões que a simulação foi a melhor ferramenta a ser utilizada nos estudos e experimentos pois permitiu as avaliações e uma boa solução ao problema sem interromper o processo produtivo.

Os autores Tolio, Sacco, *et al.* (2013) trabalham analogias em referência a integração de *softwares* que possibilitam o desenvolvimento de produtos e processos e a análise dos mesmos de forma virtual.

Inicialmente apresentam o cenário da crescente evolução relacionada aos conceitos tradicionais de manufatura, concepção e *design* de produtos. Fazem considerações quanto a importância das ferramentas virtuais utilizadas para o desenvolvimento de novos produtos e processos e quanto a praticidade em que se realizam análises, alteração e/ou avaliações de diferentes cenários como possíveis soluções aos problemas evidenciados nos projetos, sejam eles de peças ou equipamentos, ferramentas ou dispositivos, ou ainda em sistemas de produção e *layout*. Ambas considerações são referências à evolução tecnológica e evolução em competitividade.

Os autores fazem referência a empresas cujo desenvolvimento tecnológico é focado em soluções de *softwares* para a integração e avaliação de produtos, processos e *design*, como exemplo citam os desenvolvedores *Siemens*, com o PLM, Datasul Sistemas, etc.

Também fazem referência a aspectos que precisam de atenção na simulação ou análise virtual, como tratamento das informações dentro de um modelo conceitual coerente e atualizado, conhecimento e entendimento das ferramentas de simulação para permitir que engenheiros e técnicos obtenham informações seguras, entre outros.

Ainda ressaltam a importância da escolha correta da ferramenta para simulação pois lhe dará o sucesso da análise.

Os autores apresentam também duas aplicações das ferramentas de avaliação, uma onde há integração entre o desenvolvimento do produto e o processo de fabricação a ser utilizado e outra envolvendo o *design* de *layout* e a performance da manufatura. Como conclusão salientam as potencialidades das avaliações e soluções de problemas em análises virtuais integradas às quais permitem análises heterogêneas de um mesmo sistema de manufatura, trazendo confiabilidade ao projeto envolvido na análise.

Ao concluir os estudos relacionados aos trabalhos realizados utilizando a simulação computacional, ressalta-se a expressiva importância atrelada às potencialidades ao uso de ferramentas teóricas em avaliações de projetos e processos, destacando os aspectos quantitativos e qualitativos possíveis de serem observados e estudados para a obtenção de resultados mais assertivos e eficazes.

Também se destaca a relativa facilidade de programação e modelagem comentada pelos autores e a gama de possibilidades para se escolher o *software* adequado às aplicações que se deseja.

Neste contexto destaca-se a escolha, para o desenvolvimento deste estudo, do *software Tecnomatix Plant Simulation* como ambiente para a modelagem e simulação, simplesmente por questões de domínio da ferramenta e acesso fácil.

Desta forma segue, no próximo capítulo, o desenvolvimento da modelagem e simulação deste estudo.

3 DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM E SIMULAÇÃO

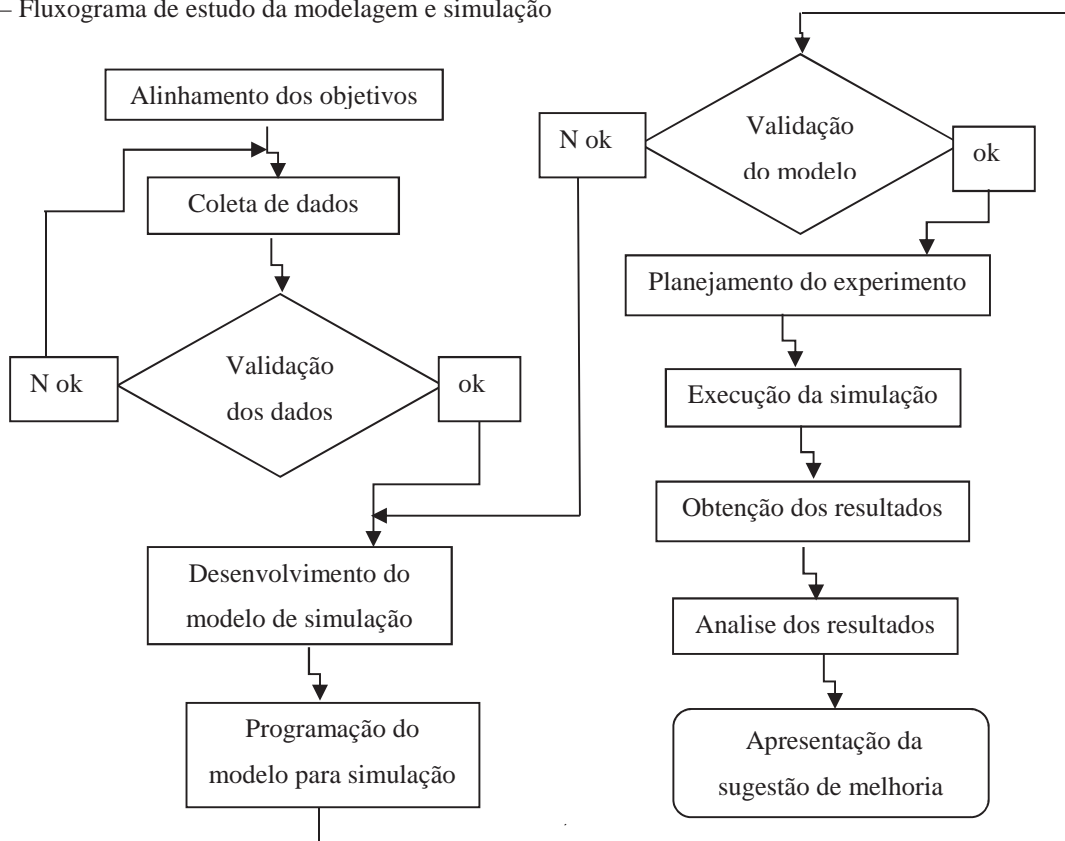
Apresenta-se neste capítulo o desenvolvimento da modelagem e simulação utilizada como ferramenta para avaliação do processo em uma fábrica de equipamentos para descarga de granéis. Para facilitar o leitor ao desenvolvimento do trabalho apresenta-se a metodologia de desenvolvimento aplicada ao estudo.

3.1 Metodologia

Nesta seção define-se a orientação do desenvolvimento da modelagem onde são destacadas as considerações essenciais para cada etapa definida pelo fluxograma planejado.

As fases são definidas conforme fluxograma da Figura 3.1 onde são expressos os passos do desenvolvimento dos capítulos deste estudo.

Figura 3.1 – Fluxograma de estudo da modelagem e simulação



Considerando o fluxograma, segue breve descrição das fases descritas para viabilizar o seu entendimento. Este sequenciamento demonstra o passo a passo do desenvolvimento do estudo e as intervenções a serem realizadas no processo bem como na programação e modelagem no *software*.

As descrições das fases são:

Alinhamento dos objetivos: Define as necessidades do estudo conforme especificado no capítulo 1.2 nas justificativas.

Coleta de dados: Etapa de acompanhamento do processo produtivo para a coleta de informações práticas para o estudo da capacidade produtiva atual, informações utilizadas como dados de entrada para a simulação. A coleta de dados é realizada através de identificação e acompanhamento dos processos produtivos de cada componente da estrutura do produto.

Validação dos dados: Análise e estudo de dados coletados a fim de comprovar sua veracidade perante o processo produtivo e seu fluxograma. Nesta fase os dados são digitalizados e comparados com os padrões utilizados pela área de engenharia de processos.

Desenvolvimento do modelo de simulação: Com o *software* ou método de simulação já definido é determinado o modelo a ser utilizado, onde o modelo é a caixa preta do sistema e deve ser cuidadosamente desenhado para representar com melhor expressão a realidade da linha ou do processo em análise.

Programação do modelo para simulação: Os dados são cadastrados ao modelo e o mesmo assume as orientações e está pronto para ser testado.

Validação do modelo de simulação: São realizados os testes com o modelo projetado e programado onde os resultados são associados aos dados reais já validados. Este é o momento para se corrigir os possíveis erros da criação do modelo e/ou da programação, pois os resultados devem ser coerentes com os anteriormente coletados.

Planejamento do experimento: São definidos os critérios da realização da simulação, as predefinições de cenários, tempo de simulação e replicações das mesmas. Aqui pré-define-se a utilização do modelo de simulação e as condições às quais cada simulação será realizada.

Execução da simulação: A execução ocorre nesta fase, onde tem-se o processamento das informações já definidas para a simulação. Os dados que foram inseridos no modelo são processados e são extraídos os resultados de cada experimento planejado.

Obtenção dos resultados: Cria-se o banco de dados simulados.

Análise dos resultados: As informações documentadas são analisadas e os resultados apresentados pelos cenários são comparados para verificação da melhor solução proposta e, não havendo coerência desta, o replanejamento do experimento é necessário.

Apresentação da sugestão de melhoria: Faz-se as ponderações quanto aos resultados alcançados expondo-os como proposta de aplicação.

3.2 Apresentação do produto foco do trabalho

Esta sessão faz uma breve apresentação do sistema, tipo plataforma, para descarga de granéis, produto este que será estudado em seu processo de fabricação.

Este equipamento possui uma estrutura que comporta caminhões de, até 26 metros de comprimento e capacidade de carga de 100 toneladas. Esta plataforma em operação, com o caminhão, pode chegar a 55° de elevação.

Produto final

O equipamento estudado tem por função a elevação de caminhões e/ou outros meios de transporte de produtos a granel, viabilizando e agilizando a descarga do produto. Neste processo o caminhão roda sobre a plataforma não elevada e é travado/fixado a mesma por dispositivos componentes do equipamento, após é realizada a elevação do caminhão para a descarga. A Figura 3.2 apresenta o equipamento em operação efetuando a descarga de grãos.

Figura 3.2 - Equipamento em aplicação prática (elevação de carga)



Fonte: Autor

O produto considerado neste estudo é dividido em partes/componentes que são fabricadas e/ou sofrem seus processos em áreas distintas da empresa. Sendo assim, alguns subconjuntos são enviados a área do processo em estudo prontos para a utilização na montagem final, estações de trabalho que ficam localizadas no final da linha de fabricação avaliada.

Ressalta-se que os processos produtivos ou fluxos de produção destes itens não serão abordados neste estudo.

Componentes principais

O primeiro e mais importante componente, o qual forma a estrutura lateral da viga que compõe o chassi do equipamento, é apresentado a seguir.

Esta viga é formada por perfis de chapas dobradas e soldadas sequencialmente a fim de atender a necessidade de comprimento solicitada no projeto. A estrutura do projeto pode ser visualizada na Figura 3.3, onde destaca-se a variação de comprimento e altura como critérios a atender a necessidade das solicitações de projeto.

A variação de comprimento está entre 8 e 18 metros e a variação de altura está entre 300 e 800 milímetros.

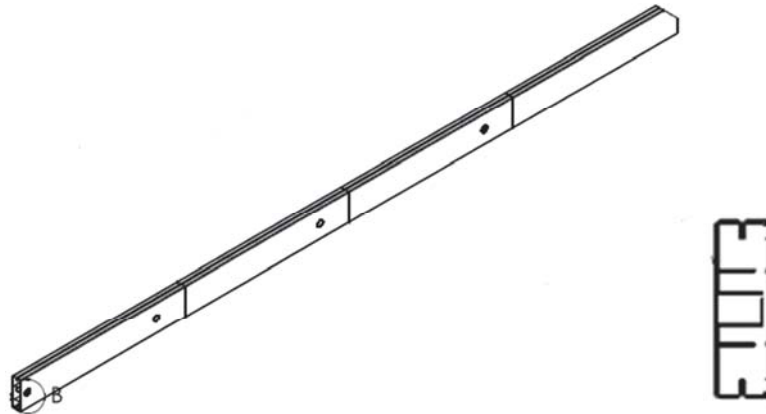
Figura 3.3 - Perfil da viga estrutural do chassi



Fonte: Autor

Através deste perfil são estruturados todos os conjuntos viga que compõe o chassi do equipamento em estudo, assim apresenta-se, na Figura 3.4, a viga estrutural, sendo que esta possui perfil tubular, formada por dois perfis de viga, unidos face a face por solda.

Figura 3.4 - Viga estrutural do chassi



Fonte: Autor

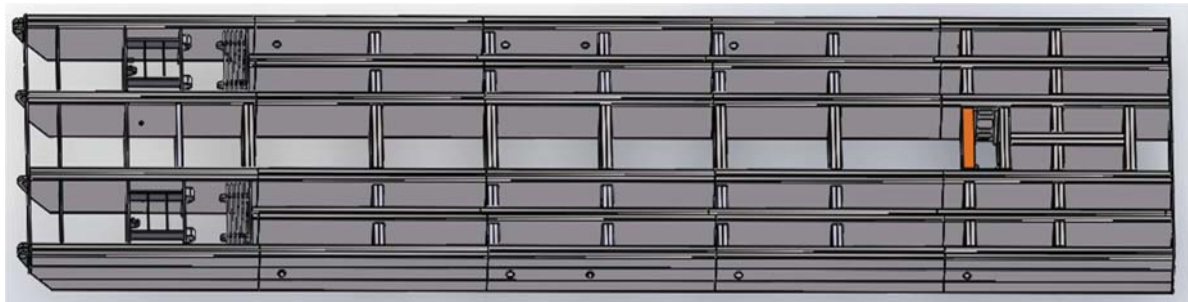
A partir destes componentes apresentados, faz-se a montagem do chassi do equipamento, este chassi possui processos posteriores para finalização de soldagem e, ainda, união de alguns componentes e acessórios não considerados no processo desta linha estudada.

Faz-se saber que o chassi pode ser dividido em duas partes, dependendo de seu comprimento, para facilitar a logística até a etapa do processo posterior, desta forma será unificado somente no processo de soldagem final.

Considerando esta particularidade, as partes do equipamento da linha em estudo são tratadas como chassi traseiro e chassi dianteiro.

A parte traseira do equipamento, após montagem na linha em avaliação, pronta para ser enviada ao processo de solda e acabamentos finais, é apresentada na Figura 3.5. Esta estrutura possui comprimento de 15 metros.

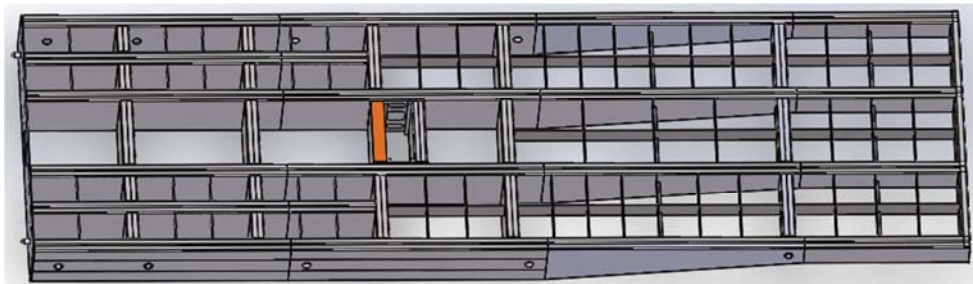
Figura 3.5 - Chassi traseiro montado



Fonte: Autor

Da mesma forma que a anterior, a parte dianteira do equipamento, após montagem, também pronta para ser enviada ao processo de solda e acabamentos finais, é apresentada na Figura 3.6, esta estrutura possui dimensionais variados entre 3 e 11 metros, conforme necessidade de projeto.

Figura 3.6 - Chassi dianteiro montado



Fonte: Autor

Em outros projetos, onde o comprimento permite a logística, o conjunto é montado por completo e então é transportado para o processo de soldagem final. Como regra, os conjuntos que finalizam sua estrutura neste processo de montagem possuem até 18 metros de extensão.

Faz-se saber que a empresa produz como padrões para o mercado consumidor, equipamentos desde 8 metros até 26 metros de extensão, com capacidades de carga desde 35 toneladas até 100 toneladas, sempre considerando a necessidade de seu cliente como regra para o projeto.

A estrutura do chassi montado com 18 metros é apresentada na Figura 3.7, sendo este o maior equipamento produzido na linha em estudo.

Figura 3.7 - Chassi montado com 18 metros



Fonte: Autor

Finaliza-se, desta forma, a apresentação dos subconjuntos produzidos na linha de fabricação a ser modelada e simulada.

A partir destas informações apresenta-se, na próxima seção, o layout da área de produção a fim de ambientar o leitor quanto a área ou célula de produção considerada ao estudo.

3.3 Apresentação do layout e fluxo dos componentes em estudo

Nesta seção será apresentado o *layout* do processo produtivo onde são fabricados os componentes principais do produto em estudo.

O *layout* a seguir apresenta a sequência de operações que compõe o processo de produção do chassi (ou estrutura corpo) do equipamento, sendo esta a área definida para a análise e desenvolvimento do projeto por ser considerada uma das principais áreas envolvidas na fabricação, dentre todas envolvidas nos processos dos componentes do produto na indústria.

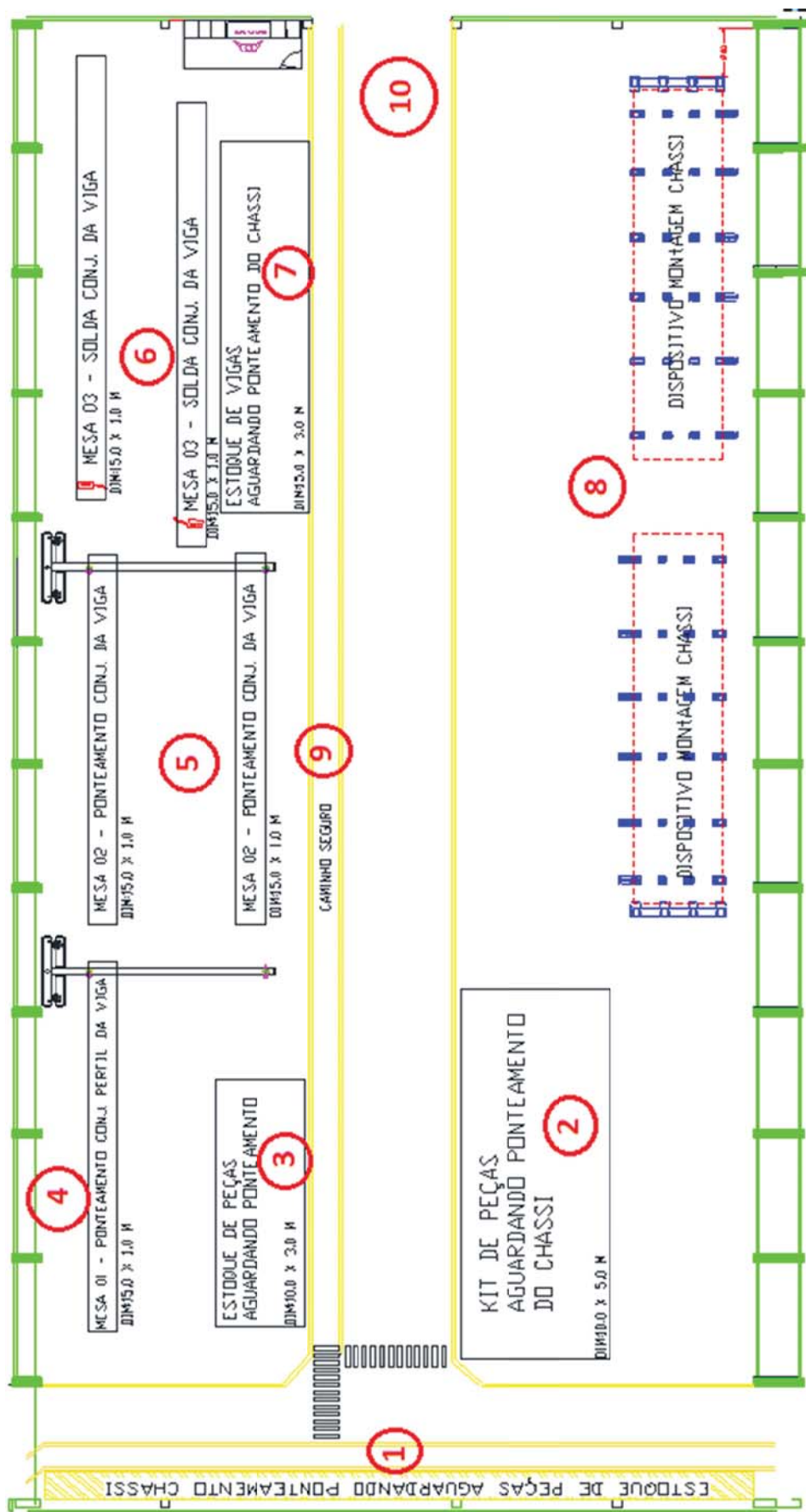
Apresenta-se as particularidades do processo para, após, o desenvolvimento da modelagem e simulação e destaca-se a sequência e representação do fluxo das peças e componentes do produto no processo, bem como as máquinas e dispositivos que compõe o *layout*.

Faz-se saber que a área em estudo possui 1500m² utilizados para armazenagem de peças e componentes processados em etapas anteriores e também para a armazenagem e montagem por solda dos componentes fabricados no processo ali desenvolvido.

Destaca-se que este trabalho estuda a linha de solda de componentes e subconjuntos do equipamento conjunto chassi em questão, não relacionando ou fazendo referência a qualquer outra área do processo produtivo.

A seguir faz-se a identificação das etapas de processo definindo-as uma a uma para facilitar o entendimento do fluxo de produção e seus conceitos apresentando, na Figura 3.8, a sequência lógica das operações.

Figura 3.8 - Detalhamento do layout e dos processos de montagem por solda



Fonte: Autor

No *layout* observa-se as demarcações de localizações setoriais as quais destacam as operações dos processos de produção, bem como áreas de estoque.

As informações possuem configurações conforme descrito:

- Indicação 1 – estoque de peças aguardando montagem dos kit's, peças estas produzidas em processos anteriores;
- Indicação 2 – estoque de peças e conjuntos soldados e/ou usinados, também produzidos em processos anteriores, e estoque de kit's aguardando montagem dos conjuntos finais;
- Indicação 3 – entrada de material, peças conformadas para fabricação dos conjuntos perfis que compõem as vigas;
- Indicação 4 – estação 01 - montagem por solda do conjunto perfil da viga tubular, conforme apresentado na Figura 3.3;
- Indicação 5 – estação 02 - montagem por solda do conjunto viga, conforme apresentado na Figura 3.4;
- Indicação 6 – estação 03 - soldagem longitudinal do conjunto viga, conforme Figura 3.4, para finalização do processo, utiliza-se para este processo equipamentos semiautomáticos
- Indicação 7 – estoque de vigas prontas aguardando montagem do conjunto chassi;
- Indicação 8 – estação 04 - bancadas de montagem por solda da estrutura do chassi, conforme mostrado na Figura 3.5, Figura 3.6 e Figura 3.7.
- Indicação 9 – caminho definido para circulação de pessoas;
- Indicação 10 – caminho definido para circulação de máquinas e logística de materiais.

Sob esta sequência os processos são desenvolvidos e, neste estudo, a modelagem e simulação são realizadas.

Contudo é importante ressaltar que o sistema operacional da linha é composto por onze colaboradores por turno distribuídos da seguinte forma:

- Um colaborador no posto de trabalho da estação 01;
- Quatro colaboradores em dois postos de trabalho da estação 02;
- Dois colaboradores em dois postos de trabalho da estação 03;
- Quatro colaboradores em dois postos de trabalho da estação 04.

Considera-se, então, possível o desenvolvimento da modelagem e sequenciamento do estudo, desta forma a próxima seção destaca o início dos trabalhos de pesquisa e desenvolvimento, juntamente com suas sequências lógicas de desenvolvimento.

3.4 Coleta de dados

A coleta de dados se inicia com a escolha correta das variáveis de entrada do sistema a ser simulado, sabendo que na simulação é extremamente importante a diferenciação dos dados de entrada para os dados de saída do modelo em análise.

Na organização e coleta prática é importante observar os trabalhos realizados em turnos, pois as verificações podem sofrer influências dos horários de trabalho, desta forma, se observado qualquer alteração na qualidade ou produtividade com a mudança de equipe de trabalho ou horário, os dados devem ser coletados em ambos os momentos para melhor simulação e, assim, utilização de suas médias ponderadas como referenciais à simulação.

Necessariamente identificam-se alguns pontos críticos a serem observados para a tomada de decisões, sendo o primeiro, um fator crítico voltado aos vários modelos de produtos que são processados na linha de produção, pois há uma série de equipamentos distintos produzidos aleatoriamente, os quais são ordenados à produção conforme necessidade apresentada pelo mercado consumidor e direcionados pelo setor de PPCP (planejamento, programação e controle da produção) da empresa.

Estes produtos e sua variação são identificados a partir dos dados da produtividade e venda histórica da empresa, onde são considerados, para a simulação, os dados de venda dos produtos no período do ano de 2014. A partir desta referência inicia-se a organização dos dados a serem utilizados no projeto.

3.4.1 Definição dos equipamentos para a simulação

Nesta seção consideram-se os dados históricos e faz-se a organização das informações totalizando os resultados de vendas destes produtos, agrupados por sua similaridade, obtendo a base de informações para a tomada de decisão daqueles a serem utilizados na simulação.

A Tabela 3.1 mostra, como exemplo, a distribuição de venda dos equipamentos no cenário mensal, onde é atribuído o código do equipamento, exemplo P0800021I1, seguido das

entregas mensais correspondentes e, totalizando, ao final do período, a produção anual, exemplo 84 unidades.

Apresenta-se a tabela completa de vendas do ano no apêndice “B” deste projeto.

Tabela 3.1 - Planilha de vendas mensais

EQUIPAMENTOS EMBARCADOS EM 2014													
Equipamentos	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	TOTAL
P0800021I1	9	14	12	4	7	6	3	3	2	14	8	2	84
P1000026I1	8		4	5	2	1	3	5	11	5	6	4	54
P0800018I1	4		4	1	10	1	3		1	2	2	5	33
P0800021E1	2	2	1	7	3			2	4	2	2		25
P0804018E2	3	2	1	2		2				1	2	2	15
P0450012I1	1	4	3		1			2			1	1	13

Fonte: Autor

Os dados mostram uma tendência de consumo a qual é considerada para definição dos valores a serem utilizados na simulação.

Na análise desta tendência verificam-se saídas acentuadas de modelos com maior capacidade, destacando um mercado consumidor que tem buscado nos últimos anos melhorar a capacidade de descarga de granéis, aliados a aplicações nos mais diversos setores de transbordo do país e exterior.

As alterações em leis trabalhistas e o crescimento dos custos dos processos são fortes aliados a alta demanda por equipamentos maiores e mais eficientes para os processos à aplicação.

A partir desta tendência e da coleta apresentada, seguem os desenvolvimentos para a especificação dos dados a serem considerados para as simulações, estas definições são estudadas e destacadas na próxima seção.

3.5 Definição de dados e níveis da estrutura do produto

Orientando-se pelas tendências do mercado comentadas na seção anterior, apresenta-se a seleção dos quinze modelos de produtos mais vendidos no período de 2014 e, por consequência, os escolhidos para a simulação sendo utilizados como dados de entrada para o modelo em desenvolvimento.

Faz-se saber que os códigos apresentados nos resultados de venda são os chamados códigos “pais” na estrutura de projeto e produto para qualquer empresa, por isso tais códigos apenas fornecem dados quantitativos ao modelo a ser desenvolvido.

Contudo, estes dados necessitam ser transformados em informações de produção para serem tratados nas máquinas e estações de trabalho onde são processados seus subconjuntos, por isso a estrutura do produto necessita ser desmembrada até o nível que contenha informações quantitativas de tempos de produção, dados essenciais para a simulação.

Assim, a relação de equipamentos apresentada é desmembrada e suas ramificações de estrutura são apresentadas, até o nível compatível com a etapa do processo ao qual se desenvolve o estudo, neste caso trabalha-se com a estrutura de quarto e quinto níveis do projeto. Esta estrutura segue na Tabela 3.2, onde tem-se os códigos ditos “pais”, apresentados como primeiro nível, e os demais, sendo atribuídos para estes os níveis 2, 3 e 4 da estrutura.

Tabela 3.2 – Codificação da estruturas do produto

CÓDIGOS “PAIS” TOMBADOR	2º NÍVEL CONJ. BASE	3º NÍVEL CONJ. PRANCHA	4º NÍVEL CONJ. CHASSI
P0800021I1	D0000118	B0000661	K8300000 / K4200000
P1000026I1	D0004026	B0000867 ou B0000866	K1970000 / K1240000
P0800018I1	D0000057	B0000673	K1120000 / K4200000
P0800021E1	D0000028	B0000680	K1160000 / K4200000
P0800018E1	D0000054	B0000660	K1120000 / K4200000
P0450012E1	D0000011	B0000668	K1070000
P0450012I1	D0000081	B0000661	K1070000
P0350010E1	D0000001	B0000657	K9700000
P0450012E2	D0000083	B0000664	K1070000
P0350010E2	D0000012	B0000339	K9700000
P0800018E2	D0000014	B0000679	K1150000
P1000026I2	D0003526	B0000782 ou B0000787 ou B0000788	K1850000 e K1860000
P0900021I1	D0000070	B0000614	K8000000 e K4200000
P0450012I2	D0000087	B0000661	K1070000
P0800020I1	D0000034	B0000393	K8300000 e K4200000

Fonte: Autor

Nota-se que as ramificações podem compor não somente um código de terceiro ou quarto nível, mas dois ou até três códigos que representam os modelos de conjuntos em níveis inferiores, conforme solicitação e padronização dos projetos de produtos.

Destaca-se, a partir dos dados, que no último nível da estrutura apresentada, algumas divisões ramificam-se para dois códigos distintos, isto se deve ao produto ser processado na linha em duas partes que são unificadas somente nos processos posteriores, após a pintura, na área do processo de montagem final de acessórios e preparação para embarque ao cliente, ou na área de solda final.

Esta unificação posterior se deve às dificuldades logísticas internas ao processo.

Uma tabela com os principais códigos dos conjuntos prancha e seus respectivos pares, conjuntos chassi, pode ser observada no apêndice “C”.

Esta ramificação pode ser observada considerando como exemplo o código B0000393 (conjunto prancha) que subdivide-se aos códigos K8300000 (conjunto chassi traseiro) e K4200000 (conjunto chassi dianteiro).

Aos códigos apresentados na tabela, faz-se a alocação dos tempos de processo correspondentes a etapa de produção, onde fazem parte do processo realizado para o código de nível 4 (K83000...), sendo a montagem por solda do conjunto chassi, representado no *layout* da Figura 3.8.

3.5.1 Definição de tempos totais do processo de fabricação

Nesta seção são utilizados os dados de 4º nível apresentados na Tabela 3.2 onde são definidos os tempos de produção. Estes valores são retirados dos dados coletados no processo de cronoanálise e são apresentados a seguir. Ressalta-se que os tempos correspondem respectivamente aos equipamentos denominados “chassi traseiro e chassi dianteiro” os quais, são unificados posteriormente, conforme comentado na seção anterior.

Faz-se necessário ainda a determinação da quantidade de equipamentos a serem utilizados como valores de entrada para a simulação, sendo, a definição desta quantidade, baseada na média por ano, calculada na Tabela 3.2.

Opta-se, para este trabalho, pelo uso da sequência de produtos com maior saída correlacionados às suas quantidades médias mensais, desta forma considerando seguir uma tendência supostamente apresentada pelo mercado.

Este critério justifica a decisão pela listagem de produtos a serem utilizados na simulação, bem como a definição teórica e prática dos tempos totais de processo para os referidos produtos, dados apresentados na Tabela 3.3, onde estão relacionados os códigos de referência dos produtos, seguidos das quantidades correspondentes a média mensal de vendas do ano 2014, associadas aos tempos de processo das operações de fabricação.

A apresentação dos códigos que formam o equipamento final, e as quantidades correspondentes a estes, estão alocadas nas colunas sequenciais. Após os dados quantitativos de produção, são atrelados os dados de processo para a operação correspondente, neste caso a montagem por solda do chassi. Para finalizar, a tabela apresenta o somatório de tempos em processo, correspondentes aos códigos relacionados e às respectivas quantidades a serem produzidas, as quais são tomadas por base de dados para o modelo de simulação.

Tabela 3.3 – Equipamentos e tempos de processo

	QTDD		TEMPO (H)	TEMPO (H)	
	CHASSI		CHASSI		TOTAL
"FILHO" 4º NÍVEL	TRAS.	DIANT.	TRAS.	DIANT.	(H)
K8300000 / K4200000	8	8	10:00:00	03:50:00	110:40:00
K1970000 / K1240000	5	5	08:00:00	08:00:00	80:00:00
K1120000 / K4200000	3	3	06:00:00	03:50:00	29:30:00
K1160000 / K4200000	2	2	05:3:00	03:50:00	18:40:00
K1120000 / K4200000	1	1	06:00:00	08:00:00	14:00:00
K1070000	1		07:00:00		7:00:00
K1070000	1		07:00:00		7:00:00
K9700000	1		05:00:00		5:00:00
K1850000 / K1860000	1	1	08:00:00	08:00:00	16:00:00
K1070000	1		07:00:00		7:00:00
K1150000	1		07:05:00		7:05:00
K9700000	1		05:00:00		5:00:00
K1070000	1		07:00:00		7:00:00
K8300000 / K4200000	1	1	10:00:00	03:50:00	13:50:00
K8000000 / K4200000	1	1	09:00:00	03:50:00	12:50:00
TOTAL PRODUZIDO	51		TEMPO TOTAL		340:35:00

Fonte: Autor

Na tabela tem-se um total de itens produzidos, na estação de montagem por solda, equivalente a 51 subconjuntos, os quais totalizam, aproximadamente, 340 horas teóricas de trabalho nesta estação, resultado gerado pelo somatório de tempos práticos coletados no sistema atual. Ressalta-se que as quantidades correspondentes a cada conjunto são definidas pela média mensal calculada em relação aos equipamentos vendidos, estas médias podem ser observadas no apêndice “B”.

Nota-se que o tempo total apresentado na Tabela 3.3 é muito próximo ao somatório total de horas trabalhadas consideradas pela indústria para o período mensal atribuído a dois turnos de trabalho. Desta forma define-se a produção mensal sob esta análise de tempos e, conseqüentemente, está definida a produção e os produtos que serão utilizados no modelo e simulação em estudo.

Ressalta-se que, a este valor calculado, é necessário adicionar os tempos de movimentação, carga e descarga, das estações de trabalho, por isso a definição destes valores será apresentada a seguir.

3.5.2 Definição dos tempos de movimentação

Nesta seção define-se os valores relacionados às movimentações realizadas entre as estações e postos de trabalho, assim, segue a apresentação na Tabela 3.4, da média dos tempos correlacionados às movimentações realizadas nas estações de trabalho atuantes no processo produtivo.

A apresentação dos tempos dá-se por operação de produção onde sabe-se que a linha está dividida em quatro operações de produção distintas, as quais são nomeadas como ponteamto ou montagem por solda do perfil da viga, ponteamto ou montagem por solda da viga, solda da viga e montagem por solda do conjunto chassi, conforme apresentado também no *layout* da Figura 3.8. A estas operações são correlacionados os tempos dos movimentos de carga e descarga que ocorrem durante a produção.

Os valores da Tabela 3.4 são formados pelo tempo médio de carga e descarga nas estações, como exemplo, na estação 01, onde tem-se 5 minutos e 22 segundos e 2 minutos e 57 segundos respectivamente, sendo multiplicados pela quantidade total produzida, onde tem-se 51 conjuntos, a fim de totalizar os tempos por estação, neste caso 7 horas e 4 minutos e 9 segundos.

Finalizando, os dados estão formatados e são utilizados para a construção final dos tempos de produção práticos coletados para a validação do modelo de simulação.

Tabela 3.4 – Tempos de movimentação

TABELA DE TEMPOS DE MOVIMENTAÇÃO					
OPERAÇÃO	PRODUÇÃO TOTAL (UN)	TEMPO DE MOVIMENTAÇÃO (H)			TEMPO GERAL (H)
		CARGA	DESCARGA	TOTAL	
PONT. PERFIL (Estação 1)	51	0:05:22	0:02:57	0:08:19	7:04:09
PONT. VIGA (Estação 2)		0:06:57	0:02:57	0:09:54	8:24:54
SOLDA VIGAS (Estação 3)		0:01:47	0:02:32	0:04:19	3:40:09
CARGA VIGAS/DESC. CHASSI (Estação 4)		0:03:55	0:20:11	0:24:06	20:29:06

Fonte: Autor

A tabela finaliza a etapa mais importante da organização dos valores onde foram formatados os dados de processo da estação principal da linha, a montagem por solda, a qual forma os conjuntos já apresentados.

Assim, passa-se a analisar as demais etapas do processo, aquelas onde os perfis são fabricados, então destaca-se a necessidade de explorar o quinto nível da estrutura de projeto, onde estão correlacionados os conjuntos que fornecerão os tempos de fabricação para as estações 01, 02 e 03 dos processos de produção, já apresentadas no *layout* da Figura 3.8.

3.5.3 Definição de tempos do processo de fabricação dos subconjuntos

Nesta seção define-se os valores correspondentes aos processos iniciais de fabricação dos subconjuntos nas estações de produção. Para esta classificação de tempos usa-se os códigos dos conjuntos chassi, exemplo K1970000, descritos na Tabela 3.3 e estende-se ao nível da estrutura que codifica os subconjuntos destes produtos, pois será neste nível a identificação das operações de produção, com seus respectivos tempos de processo, relacionados a linha em estudo.

Assim, na Tabela 3.5, destaca-se um exemplo da estrutura desmembrada, alcançando as codificações dos conjuntos viga, exemplo E0000496, e os tempos de processo correlacionados a cada estação de trabalho, bem como as quantidades de peças que são utilizadas na estrutura principal, ou seja, no conjunto chassi.

Destaca-se o totalizador de tempos por estação de trabalho, sendo esta a referência para a programação do modelo a ser realizada a simulação.

Tabela 3.5 - Divisão dos sub conjuntos das vigas

CONJ CHASSI TRASEIRO: K1970000			TEMPO UNITÁRIO DE		
CÓD. FILHOS	DESCRIÇÃO	QTDD	PROCESSO NAS ESTAÇÕES (H)		
CONJ. VIGA			01	02	03
E0000496	CONJ TUBO LAT. DIR.	1	0:35:00	0:25:00	01:27:00
E0000495	CONJ TUBO LAT. ESQ.	1	0:35:00	0:25:00	01:27:00
E0000402	CONJ TUBO TRASEIRO	2	0:25:00	0:20:00	01:27:00
E0000497	CONJ TUBO INTERMED.	2	0:35:00	0:25:00	01:27:00
TEMPOS TOTAIS POR ESTAÇÃO			03:10:00	02:20:00	08:42:00

Fonte: Autor

Outros códigos também fazem parte deste sub nível, mas são produzidos em etapas anteriores e tomados aqui apenas como itens prontos para aplicação no processo de montagem por solda do chassi.

Como podem ser observados, os códigos apresentados na Tabela 3.5 possuem quantidades relativas à necessidade expressa pelo conjunto “pai” e seus tempos de processo serão somados para a formação dos valores finais programáveis a cada estação de trabalho do modelo.

Ressalta-se que a apresentação dos somatórios de tempos correspondentes às etapas de fabricação para os demais códigos podem ser observados no apêndice “E”. Desta forma, com a definição destes dados, na próxima seção é realizado o tabelamento dos valores para a inclusão no modelo.

3.5.4 Configuração dos valores para simulação

Nesta seção são definidos os valores de orientação para cada estação de trabalho do modelo, a partir desta definição são apresentados, na Tabela 3.6, os valores finais para a modelagem, onde estão referenciados códigos de produtos, exemplo K1970000TRAS26A, suas quantidades a serem simuladas, sendo estas definidas pelo tratamento das informações de

vendas, e os tempos de produção correspondentes a cada estação, finalizando com a somatória dos tempos considerados a um ciclo de processo de um determinado produto.

Ainda são apresentados os tempos de movimentação correspondentes a cada estação de trabalho, bem como os somatórios de tempos de processo para cada estação.

Ressalta-se que estes dados são os parâmetros para a configuração do modelo, bem como para os testes e validação e, após, para as simulações dos cenários propostos a solução do problema, a baixa eficiência e aderência nos postos de trabalho.

Tabela 3.6 – Dados para simulação de produção

TABELA DE DADOS PARA MODELO E SIMULAÇÃO						
CODIFICAÇÃO	QTDD	TEMPOS DE PRODUÇÃO NAS ESTAÇÕES (H)				
		01	02	03	04	TOTAL
K1970000TRAS26A	5	03:10:00	02:20:00	08:42:00	08:00:00	111:00:00
K1850000TRAS26A	1	03:10:00	02:20:00	08:42:00	08:00:00	22:12:00
K8000000TRAS26A	1	02:50:00	02:20:00	07:38:40	09:00:00	21:48:40
K1160000TRAS21A	2	02:50:00	02:20:00	07:58:00	05:30:00	37:16:00
K8300000TRAS21A	9	07:05:00	06:37:00	05:44:00	10:00:00	264:54:00
K1120000TRAS18A	4	04:00:00	03:20:00	04:40:00	06:00:00	72:00:00
K1240000DIANT26A	5	02:28:00	02:04:00	05:02:00	08:00:00	87:50:00
K1860000DIANT26A	1	01:50:00	01:30:00	03:04:00	08:00:00	14:24:00
K4200000DIANT21A	16	01:20:00	00:48:00	02:00:00	03:50:00	127:28:00
K1150000CHASSI18A	1	02:35:00	02:10:00	05:42:00	07:05:00	17:32:00
K9700000CHASSI10A	2	01:17:00	01:50:00	02:55:00	05:00:00	22:04:00
K1070000CHASSI12A	4	02:20:00	02:00:00	04:40:00	07:00:00	64:00:00
TOTAL	51	153:29:00	128:36:00	223:38:40	336:25:00	842:08:40
TEMPO MOVIMENTAÇÃO		7:04:09	8:24:54	3:40:09	20:29:06	39:38:18
TOTAL GERAL		160:33:09	137:00:54	227:18:49	356:54:06	902:06:58

Fonte: Autor

A finalização da tabela torna possível comparar a realidade prática com o modelo teórico a ser desenvolvido, pois o modelo computacional é validado através dos tempos atribuídos aos processos utilizando-se a “realidade virtual” em comparação aos tempos práticos cronometrados.

Assim o estudo segue para a próxima fase de desenvolvimento, a qual estuda e desenvolve o modelo para as simulações.

3.6 Modelagem e simulação

A apresentação da modelagem, idealizada ao *layout* da empresa, e a evolução dos conceitos idealizados ao processo e, também, os relatórios e dados finais utilizados na simulação, são estudados a seguir onde ressalta-se que o modelo é criado a partir do *layout* apresentado na Figura 3.8.

A modelagem do sistema de produção é idealizada considerando os benefícios possíveis à organização, tais como:

- Redução de tempos e custos nas análises dos processos;
- Apresentação da realidade do *layout* em estudo;
- Possibilidade de modelagens e simulações orientadas a vários cenários sem perdas aos processos.

Por assim saber a modelagem exige do modelador, possuir pleno conhecimento das condições atribuídas ao processo, bem como ter conhecimento dos objetivos claros a este predefinidos.

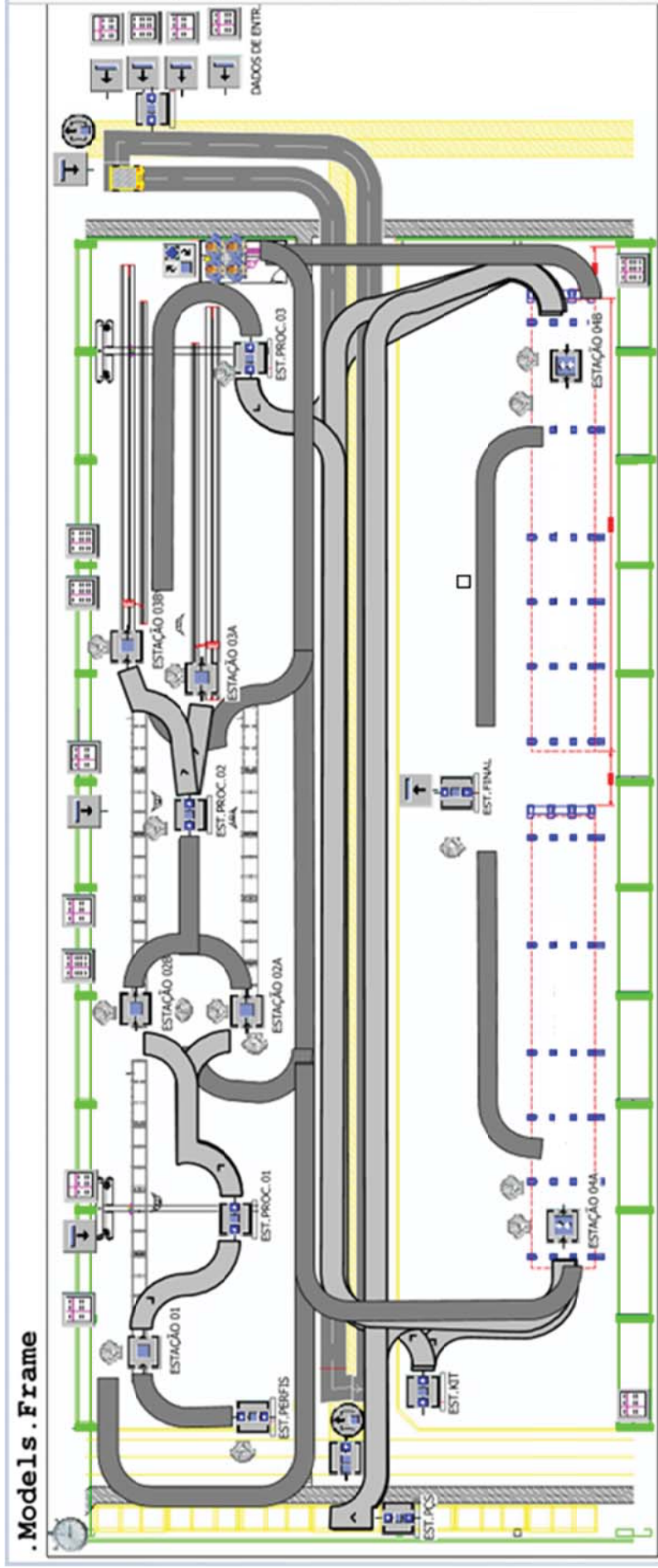
Em discussão referente às particularidades dos modelos, é necessário destacar que os modelos matemáticos ou físicos possuem potencialidades específicas, mas não aplicáveis a esta pesquisa pela complexidade do sistema a ser estudado e dificuldades para construção de maquetes.

Ressalta-se que os dados já apresentados para a modelagem não viabilizaram a utilização de determinações estatísticas para o desenvolvimento de cenários para simulação, isto porque os tempos de produção dos conjuntos são muito similares em cada etapa do processo, não proporcionando a utilização de equações ou gráficos para obtenção de uma tendência lógica ao sistema, desta forma trabalha-se com um modelo determinístico onde o modelo é programado conforme os tempos de produção validados nas seções anteriores.

Ao desenvolver o modelo, que é apresentado na Figura 3.9, utiliza-se como base de modelagem o *layout* atual da área, conforme já apresentado na Figura 3.8, modelando as etapas do processo onde cada uma possui função específica, representando e realizando a operação para qual foi atribuída.

Após o modelo desenhado é realizada a configuração das funções de cada bloco inserido no modelo para que executem as operações específicas da etapa do processo ao qual foi inserido. A configuração é realizada através da lista de dados apresentados na Tabela 3.6 e organizados pelo sistema gerenciador do *software*.

Figura 3.9 - Modelo base da área de solda e montagem por solda



Fonte: Autor

No modelo a alimentação do sistema é realizada por um bloco gerenciador de produção que libera o produto conforme a codificação e sequência configurada. Este produto é levado às estações e/ou postos de trabalho por um sistema de movimentação e carregamento de peças. Este sistema alimenta um estoque de transição que distribui as peças para os estoques da linha, também chamados de estoques de processo.

Após as peças serem reconhecidas pelo *software* nos estoques iniciam-se as etapas de produção nas estações sendo o processo realizado sequencialmente até a finalização do ciclo de fabricação modelado.

Ao final da produção na linha as peças são enviadas para um estoque em processo onde aguardam operações de fabricação posteriores.

Assim, são destacadas na Tabela 3.7 cada etapa do processo e as descrições de suas funções.

Tabela 3.7 - Identificação dos blocos do modelo

TABELA ORIENTATIVA PARA IDENTIFICAÇÃO DAS ETAPAS DO PROCESSO DESTACADAS NA FIGURA 3.9	
BLOCOS	DESCRIÇÃO DA TAREFA REALIZADA PELO BLOCO
Dados de Entr.	Estações gerenciadoras de dados usados para simulação, conforme Tabela 3.6;
Est.Pçs	Estoque de peças prontas, sub conjuntos usados nos kit's para a montagem do chassi;
Est. Kit	Estoque de kit's aguardando a montagem do conjunto chassi, processo da estação 04;
Est. Perfis	Estoque de perfis usados para montagem dos conjuntos do processo da estação 01;
Estação 01	Ponteamento e montagem soldada dos conjuntos perfis das vigas;
Est. Proc. 01	Estoque de conjuntos perfis aguardando processo posterior;
Estação 02	Ponteamento e montagem soldada dos conjuntos vigas;
Est. Proc. 02	Estoque de conjuntos vigas aguardando processo posterior;
Estação 03	Soldagem dos conjuntos vigas;
Est. Proc. 03	Estoque de conjuntos vigas aguardando processo posterior;
Estação 04	Ponteamento e montagem dos conjuntos chassis;
Est. Final	Estoque de conjuntos chassis aguardando processo posterior.
Ligações entre máquinas	Caminhos por onde circulam as peças através dos sistemas de movimentação modelados.

Fonte: Autor

A partir das funções relacionadas, as operações de produção são executadas obedecendo às condições reais do processo representando-as de forma fiel.

Neste modelo utiliza-se um alimentador, para referenciar trabalhos realizados com a empilhadeira, e pistas de deslocamento, para referenciar movimentos realizados pelo homem.

A partir destas configurações salienta-se o passo a passo das operações para melhor compreensão do modelo desenvolvido e do sistema de produção simulado.

3.7 Descrição dos processos de fabricação

Após o desenvolvimento e apresentação do modelo seguem as descrições das operações realizadas na linha viabilizando melhor compreensão das etapas e dos processos. O sistema produtivo atendido pelo modelo é composto por uma mesa de montagem por solda de conjuntos tipo longarina, às quais formam as laterais dos tubos. Este processo é realizado por um colaborador, na estação 01.

Na sequência da linha realiza-se a união das longarinas para formação do tubo ou viga estrutural do equipamento. Este processo é realizado em dois postos de trabalho, na estação 02, onde duas equipes, formadas por dois colaboradores cada, realizam o processo de montagem por solda do tudo.

A seguir ocorre o processo de união por soldagem, o qual é realizado por máquinas semiautomáticas que realizam a soldagem longitudinal das juntas formadas pela união dos perfis. Este processo é realizado em dois postos de trabalho, na estação 03, sendo operados por um colaborador cada posto ou máquina.

Destaca-se que este conjunto viga é utilizado em quantidades compostas por seis peças, conforme a necessidade do projeto e capacidade de carga do equipamento em fabricação, exceto em projetos especiais. Apenas nos conjuntos chassi dianteiros com 3 metros de comprimento são utilizados quatro conjuntos.

As vigas possuem altura variável sendo de dimensionais entre 310 e 800 milímetros.

Finalizando o processo de soldagem, as peças são direcionadas para um estoque de espera de onde são retiradas para a próxima operação, sendo esta a montagem do conjunto chassi. Esta montagem é realizada na estação 04 por duas equipes de colaboradores formadas por dois soldadores/montadores por equipe.

O processo de montagem é realizado sobre bancadas niveladas às quais facilitam e potencializam a qualidade no processo.

Após a finalização do trabalho de montagem, o equipamento semiacabado, conforme Figura 3.5 e Figura 3.6 e Figura 3.7, é deslocado para um novo estoque, desta vez fora da planta fabril, onde fica aguardando a necessidade da sequência de produção.

Para as movimentações internas entre postos, são utilizadas pontes rolantes onde o soldador/operador realiza a logística das peças, deixando seu posto de trabalho em espera enquanto alimenta ou disponibiliza as peças prontas para a nova tarefa.

Assim, no modelo, as movimentações do homem são programadas considerando seus movimentos e também os movimentos das peças.

Realizam-se, então, os primeiros testes para a simulação e validação do modelo desenvolvido.

3.7.1 Validação dos tempos de movimentação

Ao realizar a primeira rodada do modelo identifica-se defasagem expressiva entre os tempos de ciclo de produção tabelados e os resultados destes tempos na simulação, não sendo possível validar com esta configuração.

Destaca-se então a necessidade de ajustar os tempos de movimentação inseridos no modelo onde necessitam ser determinados e não tabelados conforme os tempos coletados nos processos práticos. Explica-se que esta necessidade se dá em função de o modelo não considerar os deslocamentos e/ou distâncias entre postos de trabalho em proporções reais, ou seja, ao modelar não são tomados os deslocamentos em dimensões corretas por não haver uma rotina determinada e orientada para as operações de movimentação.

No modelo foram apenas realizadas ligações entre os postos de trabalho e, por isso, as velocidades calculadas a partir dos dados práticos não atendem os tempos de deslocamento do modelo.

Desta forma as velocidades são testadas e determinadas, conforme Tabela 3.8, a fim de obter-se o mesmo tempo de ciclo do sistema real sendo que, para esta determinação de valores, foram realizadas séries de rodadas do modelo observando e comparando os dados de saída da simulação com os resultados obtidos na soma dos tempos cronometrados na linha em trabalho.

Desta forma as velocidades parametrizadas substituíram, as anteriormente calculadas, no modelo.

Tabela 3.8 - Tempos de movimentação

DADOS DE MOVIMENTAÇÕES DOS CONJUNTOS				
	CARGA	DESCARGA	CARGA	DESCARGA
ESTAÇÃO	1		2	
VELOCIDADE (m/s)	0,022	0,022	0,022	0,022
	CARGA	DESCARGA	CARGA	DESCARGA
ESTAÇÃO	3		4	
VELOCIDADE (m/s)	0,022	0,045	1,00	0,030

Fonte: Autor

Os valores da tabela são inseridos nos blocos que representam os processos de movimentação modelados para o homem e, também, para as pistas de deslocamento de peças e permitem ao modelo o resultado final adequado à validação que é desenvolvida e apresentada na próxima seção.

3.8 Validação do modelo

A validação do modelo é uma etapa essencial do trabalho, pois toda base de resultados do estudo está vinculada ao modelo de simulação. Assim permitirá a formulação dos cenários hipotéticos para a avaliação de eficiência e possíveis melhorias na produtividade.

Para as simulações de validação são escolhidos três códigos de produtos os quais fornecerão as informações de produção para a simulação teste, conforme apresentado exemplo na Tabela 3.5, sendo que os mesmos serão simulados um a um gerando resultados independentes, a serem considerados como simulação de validação.

Após o modelo programado a simulação é iniciada e identificam-se alguns conflitos e impedimentos ao controle dos dados nas estações de trabalho, isso devido a mutações dos códigos de referência dos produtos conforme os processos são sequenciados. Salienta-se que os códigos dos produtos modificam-se após algumas etapas do processo, como, por exemplo, um código de conjunto tubo que assume a codificação apenas na segunda etapa do processo, pois é formado por peças independentes que são unidas para a formação da estrutura final e, ainda, este conjunto não é produto final da linha sendo parte de outro produto na etapa posterior de fabricação. Esta mudança de codificação é o problema identificado no momento da primeira rodada da simulação e promove uma reanálise na forma de inclusão das informações de processo no modelo.

Destaca-se que, devido ao uso específico da programação base do *software*, não é possível que os códigos apresentados na Tabela 3.5, como dados de entrada, sejam utilizados e controlados do início ao fim do processo produtivo, isto somente seria possível com a programação avançada do *software*. Contudo salienta-se que o objetivo das simulações no estudo restringe-se apenas ao uso da plataforma padrão do *software* onde a lógica de programação já é predefinida e apenas usa-se as configurações padrões. Nesta referência sabe-se que há possibilidade de refinar a programação comparando-se aos recursos dos *softwares* de programação CNC utilizados em máquinas automáticas.

Identifica-se que, ao processar vários códigos de produto, não haver forma de controle destes códigos na entrada e saída de cada posto de trabalho de maneira a permitir ou identificar a sequência de operações e, por consequência, não permite acompanhar a produção para a geração correta dos dados finais.

Busca-se então alternativas para o desenvolvimento e controle das operações uma a uma para possibilitar a avaliação de cada etapa do processo e identifica-se a necessidade de uma apresentação diferenciada dos valores utilizados na programação do modelo.

Observa-se então que a apresentação dos dados conforme a Tabela 3.6 é alternativa para atender ao problema de identificação entre as operações, por isso são gerados códigos ditos “fantasmas” correspondentes aos códigos principais dos produtos e, a estes códigos, são acumulados os tempos de processo das estações ou postos de trabalho correspondentes, possibilitando, desta forma, o gerenciamento das etapas de fabricação, pois um único código por produto irá ser inserido ao sistema sendo que, a cada posto de trabalho, os tempos de processo serão acumulados ao mesmo permitindo o controle de todas as operações até a fabricação do produto final.

Salienta-se que esta nova formatação em nada altera os objetivos do estudo ou seus resultados, pois os códigos assim chamados “fantasmas” apenas são identificadores de entrada para os postos de trabalho, sendo nestes a atribuição dos tempos de processo correspondentes a cada produto ali processado.

O agrupamento de códigos, apresentados como exemplo na Tabela 3.9, define e identifica códigos e tempos de processo para a programação dos postos de trabalho sendo que, para cada posto é definido o somatório de tempos das operações para o produto referência. O mesmo acontece para todos os produtos já definidos para a simulação. Pode-se verificar a tabela completa no apêndice E.

Tabela 3.9 – Códigos fantasmas para simulação

TABELA DE CÓDIGOS FANTASMAS PARA SIMULAÇÃO					
CODIFICAÇÃO	QTDD	TEMPO (H) NAS ESTAÇÕES			
		01	02	03	04
K1970000TRAS26A	1	03:10:00	02:20:00	08:42:00	08:00:00
K1970000TRAS26B	1	ESTOQUE 1			
K1970000TRAS26C	1	ESTOQUE 2			
K1240000DIANT26A	1	02:28:00	02:04:00	05:02:00	08:00:00
K1240000DIANT26B	1	ESTOQUE 1			
K1240000DIANT26C	1	ESTOQUE 2			

Fonte: Autor

A partir dos valores listados viabiliza-se a configuração dos blocos de comando do modelo para a realização dos processos de fabricação. Cada valor disposto nas colunas é tomado por referência na estação de trabalho correspondente a vinculada na Tabela 3.9, sendo estes os tempos de processo de cada posto de trabalho. Assim tem-se a viabilidade para executar a simulação ou simulações de validação.

Destaca-se que os códigos sem identificação de tempos nas estações, identificados na Tabela 3.9 como estoque 1 e estoque 2, são utilizados somente na estação de montagem do chassi, estação 04, sendo que os mesmos não possuem processo de fabricação de componentes ou formação do conjunto na linha, apenas são considerados na relação de itens de alimentação do modelo para que passem pelos estoques de entrada e formação de kit's de onde são destinados a montagem final na estação 04.

Considerando a recodificação, a simulação de validação pode ser realizada e nela um único código de produto é inserido, a fim de possibilitar visualizar os detalhes de todo o sistema produtivo desenvolvido e identificar seus possíveis erros.

Então destaca-se, na Tabela 3.10, os produtos determinados para a simulação de validação do modelo e os valores de tempos correspondentes a cada produto, dados estes relativos ao processo produtivo atual.

Os dados apresentados por esta coleta prática serão comparados aos resultados do modelo para a comprovação de similaridade e equalização dos valores a fim de validar a configuração do modelo computacional.

Tabela 3.10 – Dados para validação do modelo

DADOS DE COLETA PRÁTICA PARA VALIDAÇÃO DO MODELO								
PRODUTO	QTDD	TEMPO (H) NAS ESTAÇÕES				TOTAL (H)	TEMPOS (H)	
		1	2	3	4		DESLOC.	CICLO
K1970000TRAS26A	1	03:10	02:20	08:42	08:00	22:12	00:47:03	22:59:03
K8300000TRAS21A	1	07:05	06:37	05:44	10:00	29:26	00:47:03	30:13:03
K4200000DIANT21A	1	01:20	00:48	02:00	03:50	07:58	00:47:03	08:45:03

Fonte: Autor

Os dados apresentados demonstram as ações realizadas em cada estação do processo formando, em seus somatórios, os tempos de ciclo de produção, reais ou práticos, coletados.

Considerando estes dados o modelo é alimentado com os valores de processo demonstrados na Tabela 3.10, é configurado e a simulação é executada gerando os resultados conforme apresentados na Tabela 3.11.

Nesta tabela estão relacionados os tempos de ciclo reais já apresentados na Tabela 3.10 e comparados aos resultados da simulação para a avaliação comparativa final.

Tabela 3.11 - Resultados da validação ao tempo de processo

TABELA DE RESULTADOS DA VALIDAÇÃO DO MODELO PARA TEMPOS DE PROCESSO				
PRODUTO	QTDD	TEMPO DE CICLO (H)		VARIACÃO
		ATUAL	SIMULAÇÃO	SIMULAÇÃO
K1970000TRAS26A	1	22:59:03	23:05:00	-0,11%
K8300000TRAS21A	1	30:13:03	30:19:26	-0,33%
K4200000DIANT21A	1	08:45:03	08:51:26	-1,13%

Fonte: Autor

Ao observar os resultados, destaca-se uma variação de aproximadamente 1% no tempo de ciclo representado pelo modelo em comparação ao real, condição que assegura a validação do modelo pelo tempo de processo.

Também são analisados os percentuais totais de produção gerados pelo modelo e comparados com os atuais onde, na Tabela 3.12, expõem-se os comparativos e os diferenciais percentuais entre os mesmos.

Tabela 3.12 – Resultados da validação para produção

TABELA DE RESULTADOS DA VALIDAÇÃO DO MODELO PARA PRODUÇÃO				
		ATUAL	SIMULAÇÃO	VARIAÇÃO
PRODUTO	QTDD	% PRODUÇÃO	% PRODUÇÃO	% PRODUÇÃO
K1970000TRAS26A	1	96,58%	96,70%	-0,12%
K8300000TRAS21A	1	97,00%	97,51%	-0,51%
K4200000DIANT21A	1	90,00%	91,37%	-1,37%

Fonte: Autor

Avaliando os resultados da simulação pode-se identificar percentual equivalente entre as práticas e o modelo computacional abrangendo margem de erro média aproximada a 1%, condição considerada aceitável, por isso também permite a validação do modelo desenvolvido.

A partir destes comparativos considera-se o modelo validado e a simulação dos cenários teóricos, para avaliação de potencialidades de melhorias na eficiência das estações ou postos de trabalho e avaliações dos possíveis ganhos em produtividade da área, podem ser realizadas. Este assunto é desenvolvido no próximo capítulo do estudo.

4 EXPERIMENTO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Na fase de simulação para os resultados, são executados experimentos criando cenários de processo a serem comparados aos resultados gerados no momento da validação do modelo.

Nesta etapa do projeto o modelo já foi validado e sabe-se que os valores programados atendem às características práticas da linha de produção, então o mesmo é realimentado com a sequência de produtos definida pelo modelador e inicia-se a rodada de simulações e a análise de resultados, buscando desenvolver uma simulação de cenários coerentes e resultados confiáveis para a geração de alternativas à evolução do processo atual.

São desenvolvidos novos modelos, a partir do modelo padrão, conforme os cenários predefinidos, e então os modelos são rodados simulando cada condição proposta a fim de gerar resultados possíveis de avaliação e comparação entre si, permitindo, desta forma, a definição da melhor alternativa a ser aplicada como solução aos problemas focos deste estudo.

Ainda são destacados os ganhos teóricos proporcionados pelo cenário que destaca a melhor solução aos objetivos traçados. Salienta-se que os resultados são extraídos da simulação a qual é base para todos os valores apresentados.

4.1 Formação dos dados e orientação para os experimentos

Os dados base, neste caso tempos, para o experimento foram identificados, coletados e apresentados no capítulo 3 deste estudo e foram configurados e organizados sob uma lógica de produção passada, desta forma tem-se a definição dos tempos de processo que deverão ser atribuídos a cada estação de trabalho do modelo.

Estes valores são analisados considerando a frequência a qual as operações são solicitadas durante as fases do processo produtivo, assim define-se a lógica de utilização de cada máquina e os dados a serem utilizados no experimento.

A realização do experimento dá-se através da montagem de uma sequência predefinida de produtos, como demanda de entrada no sistema, não sendo definidos ou obedecidos critérios de escolha sequencial ou qualquer outra regra de parametrização, pois não há repetitividade do mercado na efetivação dos pedidos de compra, sendo estes realizados conforme a oportunidade de venda formalizada entre vendedor e cliente.

Da mesma forma não há pesquisas comerciais buscando tendências de mercado que possibilitem a formatação de uma regra para a programação da fabricação, assim a

parametrização da sequência de produção será definida pelo modelador, considerando as quantidades já estabelecidas na Tabela 3.6, onde estão dimensionados os códigos mais vendidos e os tempos de processo para cada estação de trabalho.

Em posse dos dados quantitativos faz-se o sequenciamento e organização de entrada desmembrando os códigos de produtos e permitindo uma distribuição na produção, variando os modelos de equipamentos em processo e suas entradas à produção, ou seja, não serão programadas quantidades superiores a quatro equipamentos de mesmo modelo em mesma sequência de entrada. Desta forma entende-se atender com maior proximidade a realidade da carteira de vendas da empresa, a qual não define organização de entrada para os produtos nem mesmo lotes para o processo, executando a fabricação conforme a carteira de vendas.

Ainda, ressalta-se que os tempos de processo são padrões, conforme já apresentados, e os mesmos não são realinhados em nenhuma das etapas do processo simulado.

Sabe-se que a alternância de modelos de produtos é considerada influenciador direto no aumento ou redução da eficiência dos postos de trabalho ou máquinas, devido a *set ups* e preparações demasiados e para pequenos lotes, sendo o controle deste comportamento alternado ou aleatório uma possibilidade de redução no tempo de paradas não programadas e, conseqüentemente, menores *lead time e tact time* do produto em processo.

Como já discutido, o cenário de vendas não oferece esta tendências, portanto o modelo seguirá com a formação de sequenciamento de produção determinada pelo modelador sob considerações e conhecimentos práticos dos cenários encontrados na empresa.

Por consequência, a segunda fase do experimento consiste em verificar gargalos, falta de sincronismo, desorientação e outros problemas atrelados ao processo e ainda simular soluções para avaliar as melhores ou a melhor organização para a minimização ou eliminação dos possíveis problemas identificados.

Finalizando, com os dados coletados e os resultados analisados, define-se a rodada de refino do experimento para comparar resultados das alternativas simuladas e apresentar os potenciais ganhos estimados pelo sistema modelado.

4.2 Apresentação dos experimentos e simulação

Apresenta-se, nesta seção, a identificação dos cenários e o desenvolvimento das simulações para avaliação das melhorias proporcionadas pelo estudo, assim, a partir do modelo base apresentado na Figura 3.9, o modelo é rodado.

A ordem dos dados na tabela de produção é predefinida pelo modelador, da mesma forma que as quantidades de cada produto também seguem critérios de definição do modelador, assim os códigos são arranjados e listados, como apresentado na Tabela 4.1 e inseridos no modelo que os assume como orientação a produção que será simulada nos cenários.

Na Tabela 4.1 consideram-se os componentes configurados, conforme padrão de programação do modelo, seguidos das quantidades programadas e finalizando com os códigos dos produtos a serem simulados, sendo esta a sequência de produção do modelo na simulação.

Tabela 4.1 – Tabela de configuração do modelo

CONFIGURAÇÕES DE ENTRADA DO MODELO		
COMPONENTES CONFIGURADOS	QTDD	CODIGOS
.MUs.K1240000DIANT26A	1	K1240000DIANT26A
.MUs.K1240000DIANT26A	1	K1240000DIANT26A
.MUs.K1240000DIANT26A	1	K1240000DIANT26A
.MUs.K1970000TRAS26A	1	K1970000TRAS26A
.MUs.K1970000TRAS26A	1	K1970000TRAS26A
.MUs.K1970000TRAS26A	1	K1970000TRAS26A
.MUs.K8300000TRAS21A	4	K8300000TRAS21A
.MUs.K4200000DIANT21A	4	K4200000DIANT21A
.MUs.K1070000CHASSI12A	2	K1070000CHASSI12A
.MUs.K1160000TRAS21A	2	K1160000TRAS21A
.MUs.K4200000DIANT21A	3	K4200000DIANT21A
.MUs.K8000000TRAS26A	1	K8000000TRAS26A
.MUs.K1970000TRAS26A	2	K1970000TRAS26A
.MUs.K1850000TRAS26A	1	K1850000TRAS26A
.MUs.K1860000DIANT26A	1	K1860000DIANT26A
.MUs.K1240000DIANT26A	2	K1240000DIANT26A
.MUs.K9700000CHASSI10A	2	K9700000CHASSI10A
.MUs.K1120000TRAS18A	2	K1120000TRAS18A
.MUs.K4200000DIANT21A	2	K4200000DIANT21A
.MUs.K8300000TRAS21A	5	K8300000TRAS21A
.MUs.K4200000DIANT21A	4	K4200000DIANT21A
.MUs.K1120000TRAS18A	2	K1120000TRAS18A
.MUs.K4200000DIANT21A	3	K4200000DIANT21A
.MUs.K1070000CHASSI12A	2	K1070000CHASSI12A
.MUs.K1150000CHASSI18A	1	K1150000CHASSI18A

Fonte: Autor

Ressalta-se um critério tomado no lançamento dos valores e informações da sequência de produção, o qual está relacionado aos conjuntos formados pelo chassi traseiro e chassi dianteiro, pois estes são programados em sequência para proporcionar a formação dos

conjuntos prancha, produzidos nas etapas de processo posteriores, desta forma não é coerente a organização da produção sem este sequenciamento.

Observa-se, por este sequenciamento definido, a repetitividade de codificações e as quantificações de produção equivalentes entre os códigos pares.

Com a programação do modelo finalizada, faz-se a primeira rodada de simulação, com a finalidade de observar os resultados no cenário atual da linha e obter valores para embasamento e considerações aos resultados obtidos a fim de validar e reafirmar possibilidade da sequência das simulações.

Com a rodada da simulação atuando sob os dados reais e sem alterações na linha, a Tabela 4.2 apresenta os resultados, medidos em percentual de trabalho, alcançados no cenário atual onde são considerados a quantidade de equipamentos produzidos, seguido das eficiências medidas em cada posto de trabalho das estações 01, 02, 03 e 04, e ainda é considerado o tempo de ciclo deste lote de peças modelado.

Tabela 4.2 – Dados da simulação para linha geral atual

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NA SITUAÇÃO ATUAL									
QTDD	TEMPO CICLO (H)	% TRABALHO NAS ESTAÇÕES							MÉDIA
CONJ.		01	02A	02B	03A	03B	04A	04B	GERAL
51	195:46:39	71,68	33,35	29,76	60,92	50,85	84,32	87,51	
MÉDIA ESTAÇÕES		71,68	31,55		56,89		85,92		61,51

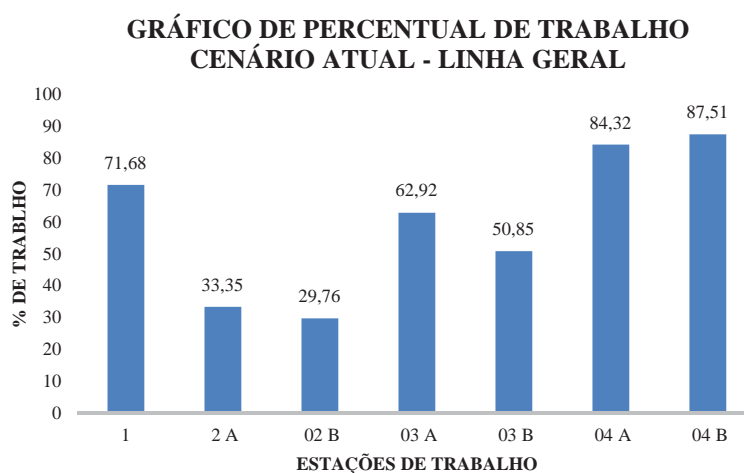
Fonte: Autor

Os resultados apresentados na tabela mostram variações significativas na eficiência dos postos de trabalho e entre as estações, condição que prospecta claramente desorientação de alguns postos, principalmente na estação 02.

Recorda-se que a estação 02, estação 03 e estação 04 possuem dois postos de trabalho, por isso estão subdivididas em postos A e B. Estes postos possuem características estruturais e capacidades de produção equivalentes e trabalham em paralelo nas operações definidas.

Utilizando as considerações apresentam-se, na Figura 4.1, os resultados da simulação em forma gráfica, nesta observa-se com melhor ênfase o comportamento da linha.

Figura 4.1 – Gráfico da simulação para linha geral



Fonte: Autor

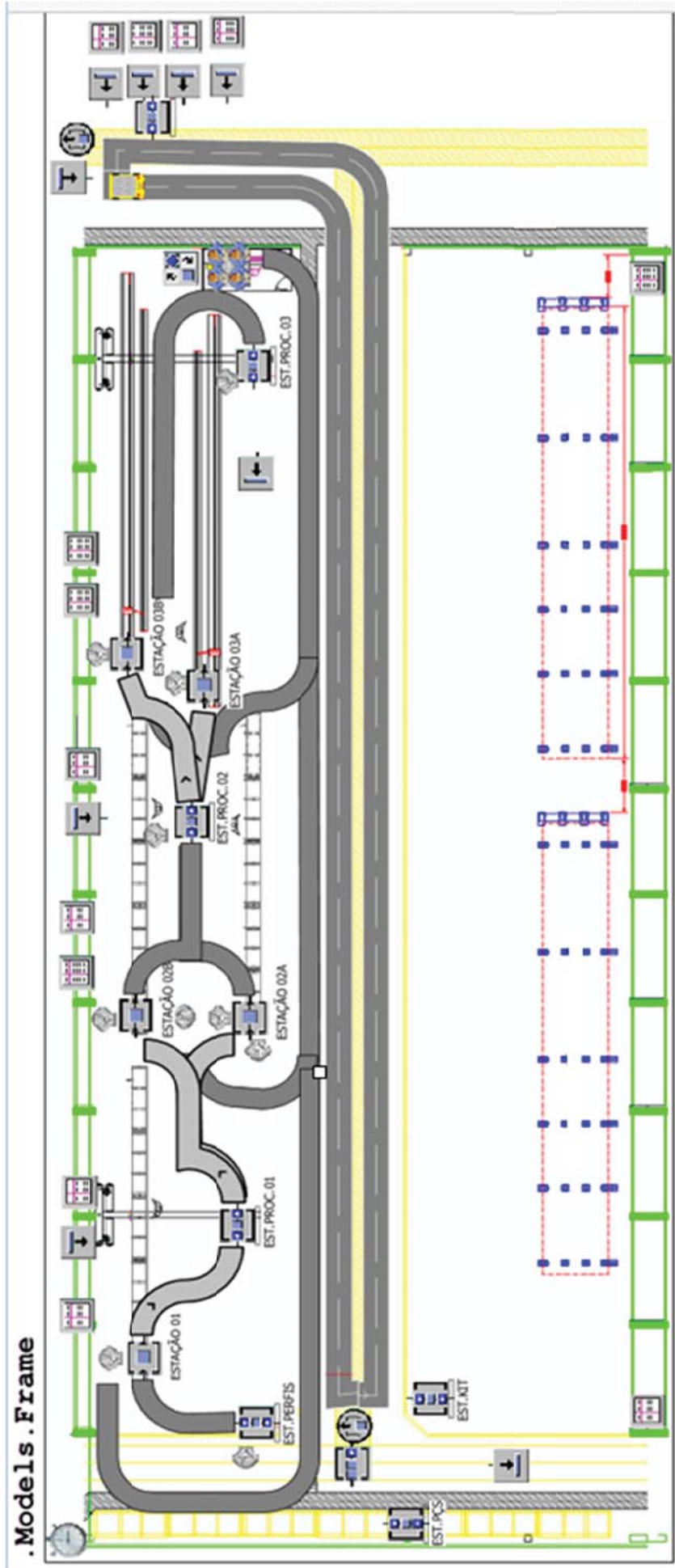
Como já descrito, os resultados são desuniformes e dificultam a análise para ajustar e/ou sugerir alterações, sob qualquer âmbito, para o nivelamento da linha. Por isso, há necessidade de simplificar e melhorar a análise dos dados e resultados setorizando a linha em duas etapas de processo, assim define-se, a partir desta simulação, pela divisão dos processos na linha de produção.

Destaca-se que, a partir desta definição, o trabalho será dedicado às avaliações nas estações de produção, 01, 02 e 03, ignorando, neste momento, a estação 04. Esta estação será tratada nas próximas seções do estudo.

Objetiva-se, com esta divisão da linha de produção, evidenciar potencialidades nos processos distintos, inicialmente naqueles de fabricação dos componentes do conjunto chassi e, após, considerando a produção efetiva do conjunto final.

O modelo para a simulação desta sequência de operações é apresentado na Figura 4.2, este é derivado do modelo geral já validado e apresentado na Figura 3.9, apenas são retirados os postos de trabalho da estação 04, os chamados 04A e 04B, sendo nestes onde ocorrem os processos de montagem do conjunto final.

Figura 4.2 – Modelo parcial do processo



Fonte: Autor

Com este novo modelo, roda-se novamente a simulação do cenário atual e apresenta-se, na Tabela 4.3, os resultados gerados a partir desta rodada.

Tabela 4.3 - Dados da simulação para linha parcial atual

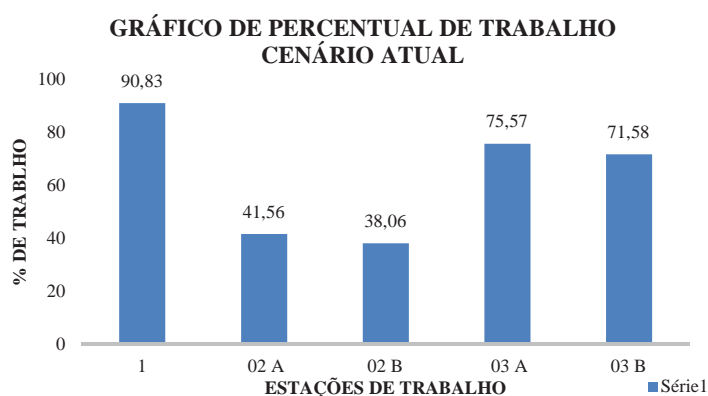
RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NA SITUAÇÃO ATUAL							
QTDD	TEMPO CICLO (H)	% DE TRABALHO NAS ESTAÇÕES					MÉDIA
CONJ.		01	02A	02B	03A	03B	GERAL
51	160:16:42	90,83	41,56	38,06	75,57	71,58	
MÉDIA ESTAÇÕES		90,83	39,81		73,57		68,07

Fonte: Autor

Nota-se que a dispersão dos resultados se mantém muito similar ao apresentado na simulação geral da linha realizada na seção anterior, continuando com variações acentuadas nos postos da estação 02, mas destaca-se que a melhora expressiva da média de utilização das estações, situação que favorece a proposta de avaliação com a sugestão da divisão da modelagem da linha.

Assim segue a Figura 4.3 que apresenta o gráfico destes resultados onde pode-se observar de forma clara a desorientação formada pela dispersão dos valores.

Figura 4.3 - Gráfico da simulação para linha parcial



Fonte: Autor

Sendo os dados válidos e as avaliações aos mesmos já descritas, seguem as simulações dos cenários hipoteticamente criados para a verificação de oportunidades de ajustes nas discrepâncias identificadas ao cenário atual da linha.

A próxima seção do estudo é voltada a apresentação e desenvolvimento destes cenários modelados ao objetivo de melhorar ou eliminar as oscilações de eficiência entre os postos de trabalho, bem como as análises e avaliações de resultados.

4.3 Apresentação dos cenários modelados

Os cenários planejados e modelados para análise são inseridos no modelo para a verificação e avaliação. A estes mantém-se os tempos de fabricação dos componentes e projeta-se adequações de estrutura física, como alterações de *layout* e/ou relocação ou redistribuição de mão de obra disponível à linha de produção.

A partir das ponderações citadas projetam-se os cenários apresentados como sequência do desenvolvimento do trabalho.

4.3.1 Cenário A

O primeiro cenário planejado e simulado considera uma alteração na força de trabalho alocado a estação 01, onde atualmente o processo é realizado por apenas um colaborador e propõe-se alocação de dois colaboradores, com isso a Tabela 4.4 mostra os resultados da simulação orientados pela quantidade do lote de produção e dispostos em percentual de trabalho correlacionados a seus postos respectivos.

Tabela 4.4 - Simulação do cenário A

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO - CENÁRIO A							
QTDD	TEMPO	% DE TRABALHO NAS ESTAÇÕES					MÉDIA
CONJ.	CICLO (H)	01	02 A	02 B	03 A	03 B	GERAL
51	154:34:04	94,44	43,21	39,57	78,57	74,42	
MÉDIA ESTAÇÕES		94,44	41,39		76,50		70,78

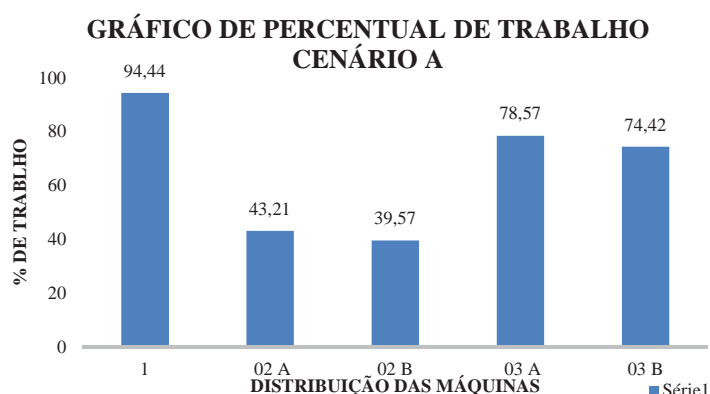
Fonte: Autor

Orientando-se pelos resultados apresentados nota-se postos de trabalho com eficiências discrepantes em relação aos demais, proporcionando oscilação elevadas especialmente nos

postos da estação 02. Ressalta-se melhoria considerável no posto de trabalho da estação 01, qual recebeu incremento de mão de obra.

Para estes dados a Figura 4.4 mostra o gráfico dos percentuais de eficiência alcançados neste cenário para a finalização das análises a esta proposta.

Figura 4.4 - Gráfico de trabalho do cenário A



Fonte: Autor

Considerando a alteração proposta neste cenário, não obtém-se um bom balanceamento da linha, mantendo-se oscilações expressivas em relação às ocupações, principalmente na estação 02, mesmo que, se comparado ao cenário atual, observa-se melhorias.

Projeta-se, então, a viabilidade de desenvolvimento de outros cenários para simulação, os quais seguem em análise.

4.3.2 Cenário B

O cenário B considera a alocação de dois colaboradores ao posto de trabalho da estação 01 e propõe a retirada de um dos postos de trabalho da estação 02 da linha de produção. Esta alternativa visa elevar o percentual de atividade produtiva da estação 02 tornando-a melhor balanceada com as demais estações da linha.

Assim a simulação é rodada e, na Tabela 4.5, os resultados são tratados, considerando novamente o lote de produção e, como resultados, os percentuais de trabalho e o tempo de ciclo da produção, os quais são apresentados sequencialmente.

Tabela 4.5 - Simulação no cenário B

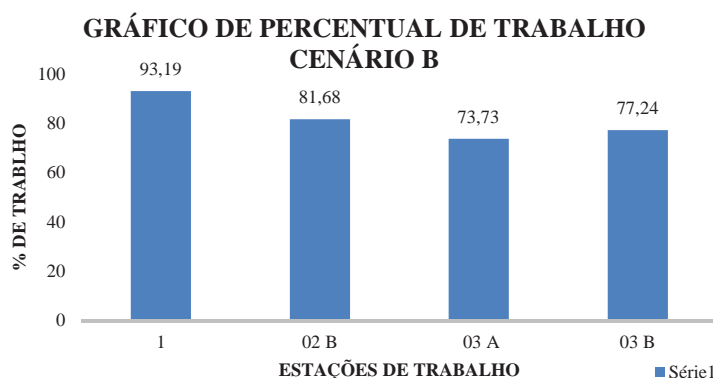
RESULTADOS DA SIMULAÇÃO CENÁRIO B						
QTDD	TEMPO	% DE TRABALHO NAS ESTAÇÕES				MÉDIA
CONJ.	CICLO (H)	01	02 B	03 A	03 B	GERAL
51	156:38:20	93,19	81,68	73,73	77,24	
MÉDIA ESTAÇÕES		93,19	81,68	75,485		83,45

Fonte: Autor

Avaliando-se os resultados identifica-se um melhor nivelamento entre os valores permitindo à estação 02 superar a estação 03 em desempenho. Com este cenário, a média de eficiência melhora significativamente, comparada ao cenário A, e ainda alcança-se tempo de ciclo inferior ao cenário atual, o que caracteriza potencial aumento de produtividade.

Através destes dados a Figura 4.5 apresenta o gráfico dos resultados onde enaltece a transformação da linha sob ponto de vista da eficiência.

Figura 4.5 - Gráfico de trabalho do cenário B



Fonte: Autor

Nota-se que, sem a duplicação dos postos de trabalho na estação 02, há uma aproximação entre os percentuais de atividade de toda a linha e alcança-se bons níveis de eficiência, observa-se este como uma alternativa para atender a premissa do projeto.

Propõe-se outras alternativas a fim de identificar melhorias mais expressivas ao sistema de produção, por isso novos cenários são planejados e simulados.

4.3.3 Cenário C

Para a simulação do cenário C busca-se redução ainda maior da alocação de mão de obra, por isso retoma-se a condição de apenas um colaborador no posto de trabalho da estação 01 e mantém-se apenas um posto na estação 02, pois os resultados anteriores se mostraram significativamente melhores sem a duplicação deste posto de trabalho. Novamente o modelo é programado e a Tabela 4.6 mostra os resultados da simulação.

Tabela 4.6 - Simulação no cenário C

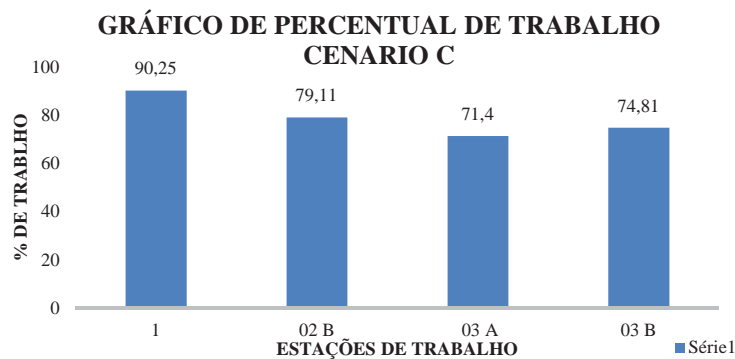
RESULTADOS DA SIMULAÇÃO CENÁRIO C						
QTDD	TEMPO	% DE TRABALHO NAS ESTAÇÕES				MÉDIA
CONJ.	CICLO (H)	01	02 B	03 A	03 B	GERAL
51	161:44:05	90,25	79,11	71,4	74,81	
MÉDIA ESTAÇÕES		90,25	79,11	73,11		80,82

Fonte: Autor

Os resultados novamente se apresentam relativamente nivelados com leve redução da média em relação ao cenário B. Neste também observa-se perdas no tempo de ciclo o qual é levemente maior comparando-se ao cenário B simulado até o momento.

Na apresentação gráfica da Figura 4.6 torna-se possível identificar com melhor ênfase a distribuição das ocupações das estações de trabalho.

Figura 4.6 - Gráfico de trabalho no cenário C



Fonte: Autor

Como já destacado, novamente obtém-se bom nivelamento de percentuais de trabalho, mas os valores da linha média caem comparando-se ao cenário B. Esta perda também é verificada considerando o tempo de ciclo.

Com os resultados entende-se haver outros cenários possíveis para avaliação, projeta-se uma nova configuração a um novo cenário para a simulação, o qual é apresentado a seguir.

4.3.4 Cenário D

O cenário D projeta um novo foco na busca por resultados, onde opta-se por inserir um novo posto de trabalho à estação 01, duplicando a capacidade de produção do processo inicial. A este posto também considera-se a utilização de um operador para a realização do processo de fabricação.

Objetiva-se com este a redução dos tempos de espera das estações posteriores. Também retoma-se a condição de dois postos de trabalho na estação 02.

O cenário mais uma vez é modelado e a Tabela 4.7 mostra os resultados de forma a permitir a identificação dos dados de eficiência dos postos de trabalho correlacionados ao lote.

Tabela 4.7 - Simulação no cenário D

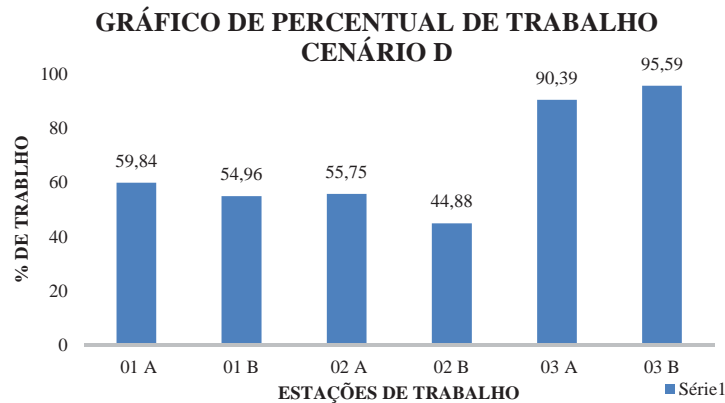
RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NO CENÁRIO D								
QTDD	TEMPO	% DE TRABALHO NAS ESTAÇÕES						MÉDIA
CONJ.	CICLO (H)	01 A	01 B	02 A	02 B	03 A	03B	GERAL
51	127:09:03	59,84	54,96	55,75	44,88	90,39	95,59	
MÉDIA ESTAÇÕES		57,4		50,32		92,99		66,90

Fonte: autor

Com este cenário o resultado da simulação apresenta-se desorientado novamente, não se alcança nivelamentos das eficiências, ao mesmo momento que a média geral cai, embora há melhor resultado no tempo de ciclo se comparado aos cenários B e C.

Projeta-se, então, na Figura 4.6 os resultados da simulação em forma gráfica para viabilizar a análise visual dos valores alcançados.

Figura 4.7 - Gráfico de trabalho no cenário D



Fonte: Autor

Observa-se resultados percentuais ruins, havendo redução significativa nos processos produtivos das estações 01 e 02 e também há uma fuga da linha média no processo dos postos de trabalho da estação 03. Observa-se relativo ganho em tempo de ciclo em relação aos cenários anteriores, mas as perdas expressivas no acréscimo de mão de obra alocada ao processo e perdas de eficiência individual dos postos de trabalho são fatores críticos expressos pelo cenário.

Buscando melhorar os resultados alcançados nesta reorganização proposta, um novo cenário é projetado e sugerido à análise.

4.3.5 Cenário E

No cenário E projeta-se a condição de trabalhar com dois postos de trabalho na estação 01, sendo alocados dois colaboradores para cada posto, com o objetivo de reverter as perdas de eficiência apresentadas no cenário D, as demais estações são mantidas com dois postos de trabalho, também é mantida a alocação de mão de obra aos postos de trabalho. Assim o modelo é configurado e rodado e a Tabela 4.8 mostra os dados resultantes.

São apresentados os dados quantitativos do lote simulado e seus resultados em percentual de ocupação de cada posto de trabalho, finalizando com o tempo de ciclo registrado pela rodada.

Tabela 4.8 - Simulação no cenário E

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NO CENÁRIO E								
QTDD	TEMPO	% DE TRABALHO NAS ESTAÇÕES						MÉDIA
CONJ.	CICLO (H)	01 A	01 B	02 A	02 B	03 A	03B	GERAL
51	130:39:19	53,49	58,23	54,25	43,68	92,28	88,72	
MÉDIA ESTAÇÕES		55,86		48,965		90,50		65,11

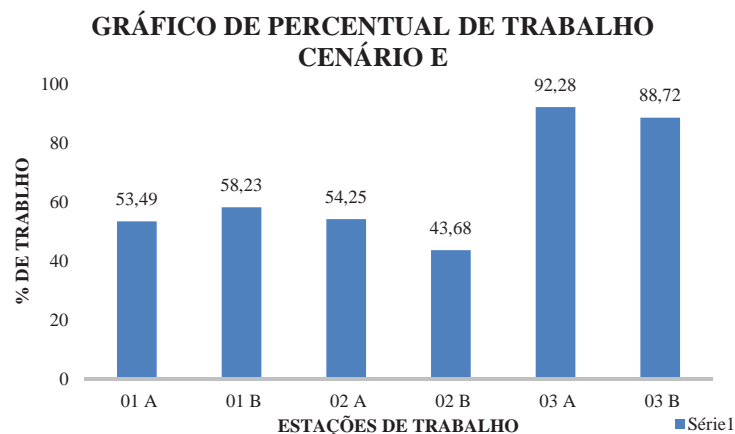
Fonte: Autor

Analisando os valores, identifica-se a manutenção na eficiência média das estações, se comparado ao cenário D, mas o resultado é ainda pior comparando-se a outros cenários já simulados.

Os resultados tabelados também são apresentados de forma gráfica na Figura 4.8 onde pode-se visualizar de maneira mais clara o nivelamento alcançado pela proposta quanto à eficiência.

Ressalta-se que, além dos resultados não satisfatórios na ocupação das máquinas, ainda tem-se, neste cenário, perdas pelo incremento de mão de obra que é necessária para atender ao programado para a linha.

Figura 4.8 - Gráfico de trabalho no cenário E



Fonte: Autor

Neste gráfico nota-se similaridade aos resultados do cenário D, onde se mantém média relativamente baixa e, possivelmente, insatisfatória ao proposto pelo estudo.

Destaca-se que o cenário D finaliza as tratativas de projeto para desenvolvimento de alternativas de melhoria para o processo produtivo da linha em estudo e, a partir deste, inicia-se as análises e tratativas dos resultados alcançados visando identificar o melhor dentre os apresentados e, conseqüentemente, o cenário que atenda às premissas do projeto.

4.4 Análise dos resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos nos cenários simulados, onde serão analisados e comparados, para a verificação da melhor alternativa aplicada como solução ao atendimento dos objetivos determinados ao estudo.

Sequencialmente são realizadas as análises comparativas do melhor cenário ao cenário atual, destacando as evoluções dos resultados da linha de produção.

4.4.1 Comparação dos resultados dos cenários

A seção apresenta os resultados de eficiência alcançados nas estações e os tempos de ciclo correspondentes a cada cenário simulado, conforme Tabela 4.9.

Nesta tabela são listados os cenários simulados e seus respectivos resultados em eficiências nas estações e tempos de produção resultantes.

Tabela 4.9 – Tabela de eficiências nos cenários

COMPARAÇÃO DAS EFICIÊNCIAS NAS ESTAÇÕES NOS CENÁRIOS SIMULADOS				
CENÁRIOS	ESTAÇÕES			TEMPO DE CICLO (H)
	1	2	3	
A	94,44	41,39	76,50	154:34:04
B	93,19	81,68	75,48	156:38:20
C	90,25	79,11	73,11	161:44:05
D	57,40	50,32	92,99	127:09:03
E	55,86	48,96	90,50	130:39:19

Fonte: Autor

Como já identificado, obteve-se variações expressivas nas propostas de soluções e também nos resultados alcançados em cada proposta, assim destacam-se com os melhores índices no âmbito macro os cenários B e C, onde ambos apresentaram médias de ocupações percentuais elevadas e bons resultados em tempo de ciclo.

Ao refinar a análise para os dois cenários, identifica superioridade de ganhos acima de 3% no cenário B, por isso este é utilizado para o estudo comparativo aos ganhos possíveis ao cenário atual.

Assim, segue o desenvolvimento das análises ao cenário escolhido, cenário B.

4.4.2 Comparação dos cenários atual x simulação

Após a definição do cenário para as análises comparativas de resultados, diante do cenário atual, retoma-se os dados das simulações já realizadas.

Para esta seção faz-se o comparativo dos valores resultantes das simulações dos cenários, atual e proposto, conforme Tabela 4.10, onde apresenta-se as mudanças reais causadas pela nova configuração do modelo.

São referenciadas as estações de trabalho e, simultaneamente, os percentuais de ocupação registrados pelas simulações em ambos os cenários, sendo calculadas as variações, consideradas melhorias, em cada processo.

Este comparativo reforça a assertividade da decisão pelo cenário B como alternativa de melhoria do processo em estudo.

Tabela 4.10 - Dados comparativos cenário atual x simulação

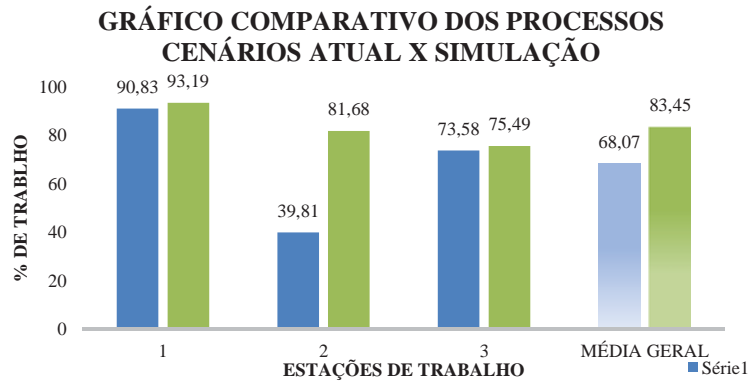
PERCENTUAL DE UTILIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES NOS CENÁRIOS ATUAL x SIMULAÇÃO (CENÁRIO B)			
ESTAÇÃO	ATUAL	SIMULAÇÃO	MELHORIA
1	90,83	93,19	<u>2,60%</u>
2	39,81	81,68	<u>105,17%</u>
3	73,57	75,48	<u>2,60%</u>
MÉDIA GERAL	68,07	83,45	36,79%

Fonte: Autor

Analisando os resultados nota-se a aproximação das eficiências, em ambos os cenários, nas estações de trabalho, exceto na estação 02. Em média obtém-se ganhos aproximados a 36% na eficiência geral de ocupação da linha e destaca-se a estação 02, onde a variação alcança 105%, com isso o balanceamento entre as estações de trabalho se destaca.

Utilizando os dados da tabela, configura-se o gráfico da Figura 4.9, a qual apresenta o comparativo, dos percentuais de ocupação alcançados nas estações e da média geral destas ocupações.

Figura 4.9 – Gráfico de trabalho nos cenários atual x simulação



Fonte: Autor

Com o aumento da eficiência média e o destaque para a eficiência da estação 02, a qual duplicou-se na simulação, obtém-se um nivelamento médio superior a 80% na eficiência geral das estações. Os resultados também são positivos em observação aos tempos de processo geral, o que fortalece a decisões já apresentadas e comprova a potencialidade da linha.

Ainda, sob o olhar comparativo, segue a Tabela 4.11 que apresenta os tempos de ciclos alcançados nos cenários, atual e proposto (B), realizando a comparação de ganhos.

Tabela 4.11 – Tempo de produção nos cenários atual x simulação

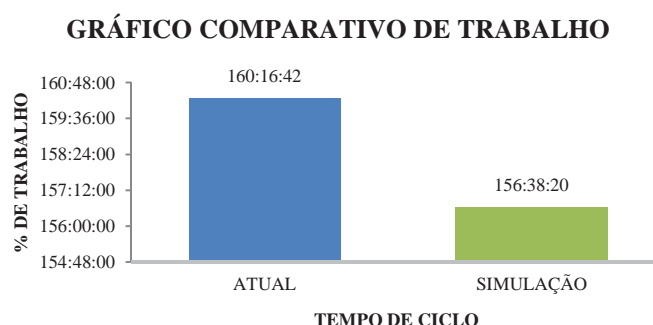
COMPARATIVO DE TEMPO DE PRODUÇÃO NOS CENÁRIOS ATUAL x SIMULAÇÃO		
TEMPO CICLO		
ATUAL	SIMULAÇÃO	REDUÇÃO
160:16:42	156:38:20	-2,27%

Fonte: Autor

Nota-se redução de 2,3% no tempo final de execução, condição que fortalece os bons resultados já apresentados a este cenário.

Segue também gráfico da Figura 4.10 onde são mostradas as variações tabeladas.

Figura 4.10 – Gráfico de tempo de produção nos cenários atual x simulação



Fonte: Autor

Com a redução no tempo de trabalho é possível afirmar que há potencialidade de aumento de produtividade mensal dos conjuntos viga, pois levando-se em conta o tempo de ciclo do cenário atual como tempo de produção mensal, ou seja, o tempo disponível mensal considerado igual a 160 horas, é possível utilizar o novo cenário, programando-o ao tempo de produção do cenário atual, para identificar como se comportam os postos de trabalho. Este comparativo é apresentado na Tabela 4.12.

Desta forma apresenta-se a produtividade alcançada, comparando os cenários, atual e simulação (cenário B proposto), para cada estação de trabalho, onde também são apresentados os ganhos percentuais para cada etapa do processo produtivo.

Tabela 4.12 – Produção mensal nos cenários atual x simulação

PRODUÇÃO COMPARATIVA MENSAL NOS CENÁRIOS ATUAL X SIMULADO				
ESTAÇÃO	QTDD PRODUÇÃO		GANHOS PERCENTUAIS	TEMPO DE SIMULAÇÃO
	ATUAL	SIMULAÇÃO		
1	49	51	4,08%	160:16:42
2	50	53	6,00%	
3	50	53	6,00%	

Fonte: Autor

Da mesma forma torna-se possível traduzir e identificar os ganhos proporcionados pela melhoria na eficiência em ganhos de produtividade alcançando média acima de 5%.

Somados aos resultados de produtividade tem-se a redução na utilização da mão de obra alocada a linha, onde o cenário proposto contempla a retirada de um colaborador.

É necessário saber que a linha de produção no cenário atual aloca sete colaboradores distribuídos nas estações conforme Tabela 4.13. Por consequência, sabe-se que na estação 01 há um posto de trabalho com alocação, inicialmente, de um colaborador e identificam-se melhores resultados quando alocados dois colaboradores nesta estação.

Desta forma a Tabela 4.13 apresenta as estações de trabalho e a mão de obra alocada às mesmas subdividindo-se em postos de trabalho comparando cenário atual e proposto.

Tabela 4.13 – Distribuição da mão de obra no cenário atual x simulação

DISTRIBUIÇÃO DA MÃO DE OBRA (M.O.)				
ESTAÇÕES	CENÁRIO ATUAL		CENÁRIO PROPOSTO	
	Nº POSTOS	Nº M.O.	Nº POSTOS	Nº M.O.
1	1	1	1	2
2	2	4	1	2
3	2	2	2	2
TOTAL	5	7	4	6

Fonte: Autor

Observa-se a redução de um posto de trabalho e de um colaborador, também a migração de outro colaborador entre postos de trabalho.

Estando as alocações distribuídas apresenta-se a Tabela 4.14 que considera o novo cenário e identifica a redução na alocação de mão de obra. A tabela faz o comparativo entre os cenários e apresenta o percentual de redução alcançado e a redução de custos média anual.

Tabela 4.14 – Redução da mão de obra e custo

ALOCAÇÃO DA MÃO DE OBRA			
ATUAL	SIMULAÇÃO	REDUÇÃO DE M.O.	REDUÇÃO DE CUSTO MÉDIA ANUAL
7	6	-14,29%	R\$ 33.264,00

Fonte: Autor

Sabe-se que estes resultados são proporcionados, principalmente, pela redução de um posto de trabalho na estação 02, onde haviam dois postos com alocação de quatro

colaboradores e, com a simulação, evidencia-se a necessidade de apenas um posto e alocação de apenas dois colaboradores nesta estação.

Esta nova distribuição valida a redução de 14% na necessidade de mão de obra destinada às estações 01, 02 e 03, sendo possível afirmar também um ganho médio em redução de custos equivalente a R\$ 33.264,00, destacando-se que a este valor não estão inclusos gastos com alimentação, saúde, transporte e segurança, vinculados ao colaborador e não estimados neste estudo.

Ainda, a partir da relação de resultados apresentada na Tabela 4.10, em resumo, é possível melhorar a capacidade ocupacional das estações alcançando média geral de, aproximadamente, 36%.

Finalizando a avaliação e a apresentação dos resultados, alcança-se a conclusão da parte principal do projeto de estudo, mas ainda há necessidade da realização da simulação da linha unificada, objetivando visualizar o comportamento das estações na condição global. Este assunto será desenvolvido na próxima seção onde o modelo passa a atender todas as etapas do processo produtivo.

4.5 Simulação da linha de produção geral

A simulação geral busca apresentar a ligação entre as estações, onde os processos de fabricação das vigas já realizados formam base para a simulação do modelo final geral, desenvolvido e apresentado a seguir na Figura 4.11.

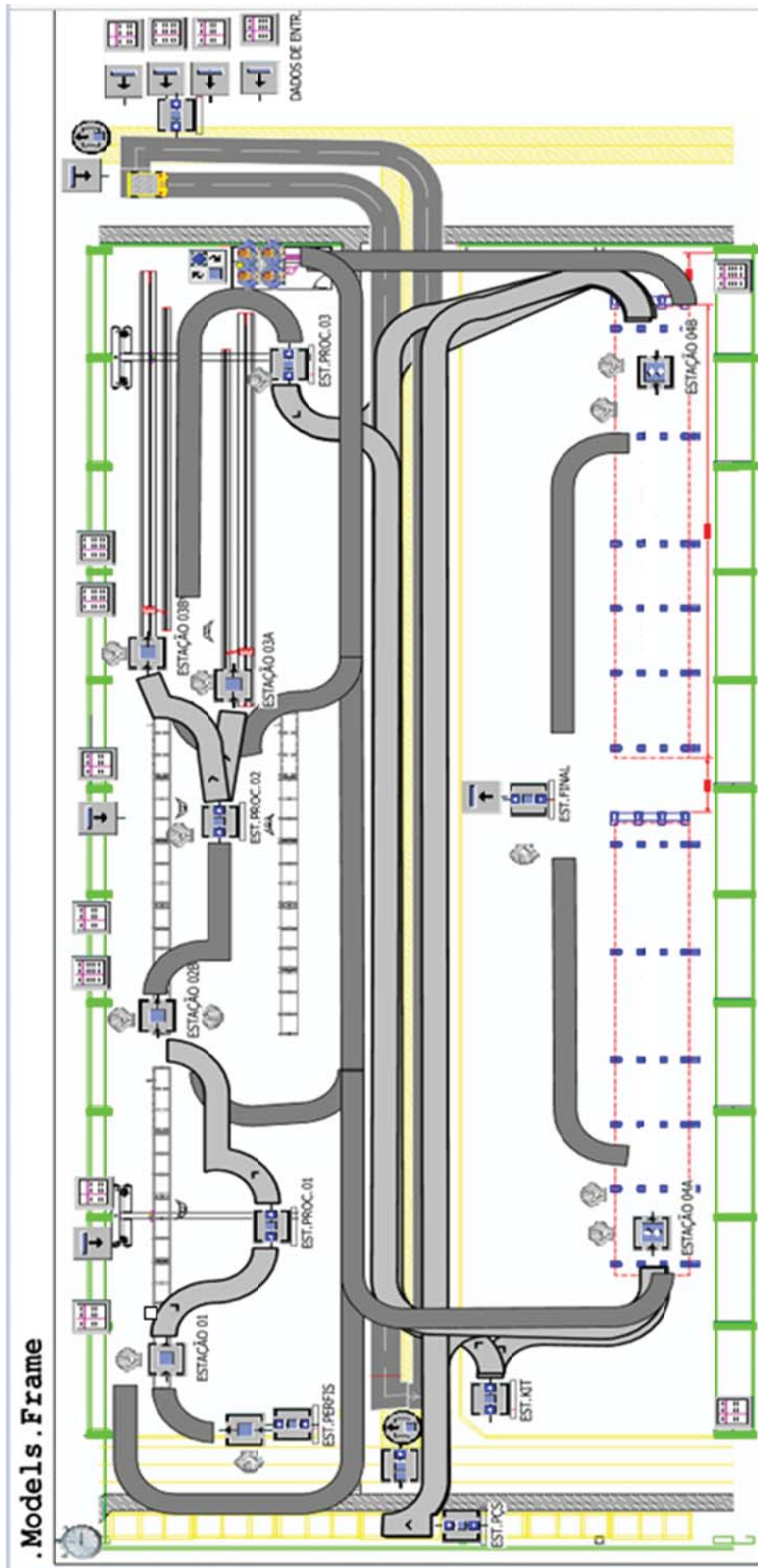
Este modelo simula todas as fases do processo e permite analisar os resultados de trabalho e movimentações da estrutura geral permitindo identificar perdas localizadas ou gerais do processo.

Esta análise será realizada e comparada aos resultados do cenário atual apresentado anteriormente na Tabela 4.2 e, espera-se a observação da manutenção das orientações conseguidas no cenário B proposto a solução deste estudo.

Observa-se que o modelo geral a ser apresentado é o modelo final deste projeto, sendo assim, encaminham-se as avaliações finais deste estudo.

Destaca-se a manutenção de todos os parâmetros de simulação, programações e configurações de tabelas de códigos e tempos, conforme já tratados anteriormente e, a partir destes, seguem as rodadas do modelo para análise dos resultados finais.

Figura 4.11 – Modelo final da linha na solução proposta



Fonte: Autor

Nota-se a alteração deste modelo ao modelo inicial, apresentado na Figura 3.9, quanto às estações de trabalho 01 e 02, onde há a inclusão da mão de obra e a retirada de um posto de trabalho, respectivamente.

A partir do modelo final, na Tabela 4.15, apresenta-se os resultados médios por estações em eficiência, alcançados no cenário atual.

Nesta tabela é considerado o lote de produção, o tempo de ciclo da produção e os percentuais médios de ocupação em cada estação de trabalho. A tabela também expõe a média geral de eficiência das estações e o desvio padrão correspondente. Salienta-se que estes resultados são extraídos do cenário atual modelado e apresentado na Figura 3.9.

Tabela 4.15 - Simulação no cenário atual da linha geral

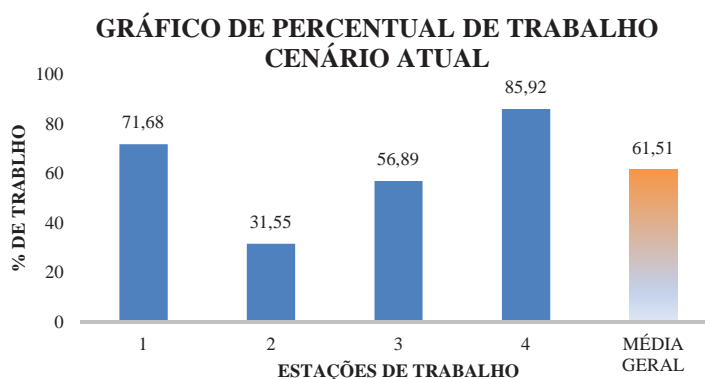
RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NO CENÁRIO ATUAL – LINHA GERAL							
QTDD	TEMPO CICLO (H)	% DE TRABALHO NAS ESTAÇÕES				MÉDIA GERAL (%)	DESVIO PADRÃO
		1	2	3	4		
51	195:46:39	71,68	31,56	56,89	85,92	61,51	20,11

Fonte: Autor

Na análise dos resultados observa-se variação acentuada no comparativo entre as eficiências das estações de trabalho e, conseqüentemente, oscilações grandes em relação a média desta eficiência. Também destaca-se desvio padrão relativamente alto.

Usa-se a Figura 4.12 para melhor representar a desorientação construída na tabela.

Figura 4.12 - Gráfico da linha no cenário atual



Fonte: Autor

Identifica-se com os resultados uma curva de tendência acentuada representando grandes alterações de eficiência entre as estações e oscilações muito distantes da média geral.

Seguido destes resultados realiza-se a simulação considerando o cenário final, proposto como ideal para as comparações dos resultados entre os cenários.

Então a simulação é realizada sob o cenário proposto (B) e, através da Tabela 4.16, apresentam-se os resultados finais deste cenário, novamente constando os dados referenciais correlacionados a lote, percentual de trabalho e tempo de ciclo.

Tabela 4.16 – Simulação no cenário B (final) da linha geral

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NO CENÁRIO (B) FINAL - LINHA GERAL							
QTDD	TEMPO CICLO (H)	% DE TRABALHO NAS ESTAÇÕES				MÉDIA GERAL (%)	DESVIO PADRÃO
		1	2	3	4		
51	193:39:20	72,27	63,8	57,51	86,86	70,11	11,00

Fonte: Autor

Observa-se, nos resultados, a eficiência das estações mais próxima à eficiência média geral, apresentando elevação expressiva na estação do processo final. A elevação de eficiência nesta estação é justificada pela menor influência dos tempos de movimentação após as operações. O desvio padrão apresenta valor expressivamente menor em relação ao cenário atual.

A partir destes dados o gráfico é desenvolvido e apresentado na Figura 4.13 onde identifica-se a tendência do cenário.

Figura 4.13 – Gráfico da linha no cenário B (final)

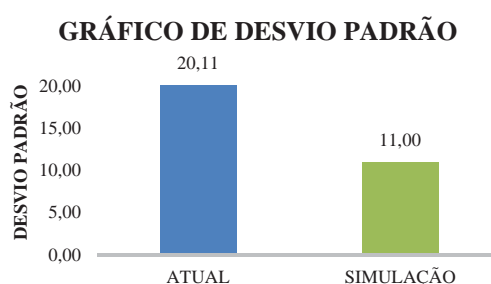


Fonte: Autor

Observa-se a tendência dos resultados mais próxima a média com oscilações leves em relação a mesma.

Contudo, a Figura 4.14 representa o comparativo em relação ao desvio padrão alcançado nos cenários atual versus final.

Figura 4.14 – Desvio padrão nos cenários



Fonte: Autor

Ao analisar os resultados de desvio padrão apresentados, nota-se variação expressiva entre os cenários com valores próximos a 80% de oscilação entre ambos.

Também, faz-se a apresentação dos resultados dos cenários para identificar as melhorias alcançadas com o cenário proposto.

Desta forma desenvolve-se a Tabela 4.17 apresentando os resultados de eficiência, unitários e gerais, para as estações.

Tabela 4.17 – Utilização das estações nos cenários atual x final

UTILIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES NOS CENÁRIOS ATUAL x SIMULAÇÃO FINAL		
ESTAÇÃO	ATUAL (%)	SIMULAÇÃO (%)
1	71,68	72,27
2	31,55	63,8
3	56,89	57,51
4	85,92	86,86
MÉDIA GERAL	61,51	70,11

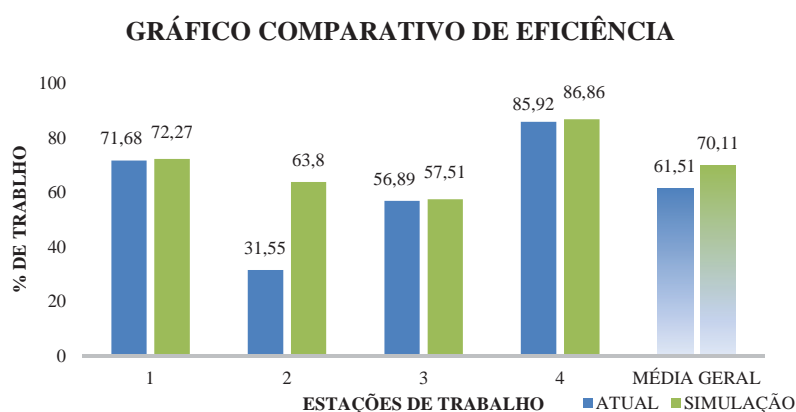
Fonte: Autor

Observa-se uma uniformidade entre as eficiências das estações de trabalho apresentando estabilidade dos cenários a exceção da estação 02, onde a variação chega a

100%. Esta variação corresponde ao acréscimo de aproximadamente 14% na média geral dos resultados de eficiência da linha.

A Figura 4.15 apresenta, em forma gráfica, os resultados comentados, bem como as melhorias gerais.

Figura 4.15 – Gráfico de eficiência nos cenários atual x final



Fonte: Autor

Ao analisar os resultados finais destaca-se a manutenção das similaridades entre os modelos, à exceção da estação 02, como já comentado.

A seguir observa-se a Tabela 4.18, que compara as ocupações mínimas das estações e suas médias nos cenários atual x simulação. Estas comparações representam as evoluções alcançadas na linha com a simulação do cenário proposto.

Tabela 4.18 – Comparativo entre eficiências mínimas e médias

COMPARATIVO DE EFICIÊNCIAS MÍNIMAS E MÉDIAS ENTRE OS CENÁRIOS			
	ATUAL (%)	SIMULAÇÃO (%)	MELHORIA
MÍNIMOS	31,56	57,51	82,25%
MÉDIAS	61,51	70,11	13,98%

Fonte: Autor

Nota-se o aumento expressivo na eficiência mínima alcançada entre as estações de trabalho onde o resultado chega próximo a 82%, da mesma forma que a eficiência média melhora a níveis de 14%.

Destaca-se que estes resultados são observados ao modelo programado pelo lote de produção definido, nesta condição o modelo é parametrizado pelos dados de entrada tabelados, os quais determinam o fim da simulação para cada estação de trabalho ao fim da produção do lote programado naquele posto.

Esta condição não é coincidente ao fim da modelagem, pois os postos de trabalho das estações iniciais em linha finalizam seus processos e, sem trabalho, aguardam a finalização das operações nos postos sequenciais, sendo, esta espera, considerada à eficiência de cada estação e, por consequência, seus resultados caem significativamente.

A fim de destacar e evidenciar resultados equivalentes a realidade das plantas fabris, desenvolve-se um comparativo de simulações onde a produção será sequenciada e o modelo não será programado pelo lote específico, mas sim pelo tempo de ciclo apresentado conforme simulações atual e final, já discutidos.

Esta programação faz com que os dados de entrada sejam repetidos ciclicamente até que o tempo seja cumprido, desta forma todas as estações de trabalho param no mesmo momento e pode-se identificar as eficiências resultantes.

Este desenvolvimento é apresentado na seção seguinte deste estudo, sendo considerada como uma produção mensal sequencial cíclica.

4.6 Simulação da produção mensal em programação cíclica

Esta seção ressalta as potencialidades da linha sendo abastecida sem interrupções, realidade do processo produtivo da empresa, pois considera entradas sequenciais de produtos conforme programação de seu sistema de produção.

Para a condição comentada o modelo é programado e as simulações comparativas, utilizando o cenário atual e o cenário B (final), são realizadas, desta forma os postos de trabalho não param suas operações exceto quando o tempo da produção programado for cumprido. Desta forma busca-se observar a linha a realidade de produção prática qual é direcionada pelo PPCP a fim de atender a demanda da carteira de pedidos vigente.

Inicialmente, na Tabela 4.19, são apresentados os resultados do cenário atual para a configuração do tempo de produção e parâmetros de dados de entrada sequenciais cíclicos.

A tabela mostra os resultados alcançados pela simulação.

Tabela 4.19 – Eficiência no cenário atual no tempo de produção programado

RESULTADOS DE EFICIÊNCIA MÉDIA NO CENÁRIO ATUAL CONSIDERANDO TEMPO DE PRODUÇÃO PROGRAMADO					
QTDD	% DE TRABALHO NAS ESTAÇÕES				TEMPO DE PRODUÇÃO (H)
	1	2	3	4	
53	96	40,16	72,38	91,91	195:46:39

Fonte: Autor

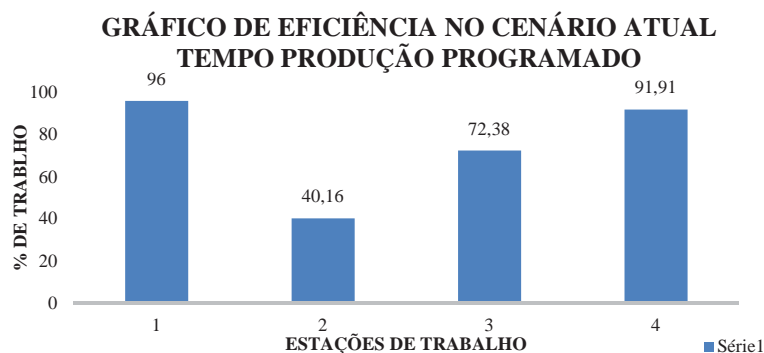
Ao analisar os resultados das eficiências globais das estações, representadas sob o conceito de produção mensal, observa-se a manutenção da tendência de distribuição, já apresentadas para este cenário quando simulado ao lote definido, apenas destacando leve elevação nas eficiências em geral.

Estas eficiências acentuam-se no processo inicial pela nova condição de produção que caracteriza a não parada por falta de peças.

Outro fator a ser observado está relacionado a quantidade total produzida, onde observa-se o aumento para 53 conjuntos, resultado que prova a atividade do modelo parametrizado pelo tempo e não pelo lote de peças.

Os resultados também são apresentados na Figura 4.16 onde a orientação da tendência de ocupação fica mais evidente.

Figura 4.16 – Gráfico do cenário atual no tempo de produção programado



Fonte: Autor

Com esta simulação definida e apresentada, programa-se o modelo para a realização da simulação considerando o cenário final e, após a rodada, apresenta-se os resultados na Tabela

4.20. Esta considera os valores gerados pela simulação programada ao tempo de produção controlado, mesmo critério utilizado para o cenário atual já apresentado.

Tabela 4.20 – Eficiência no cenário final no tempo de produção programado

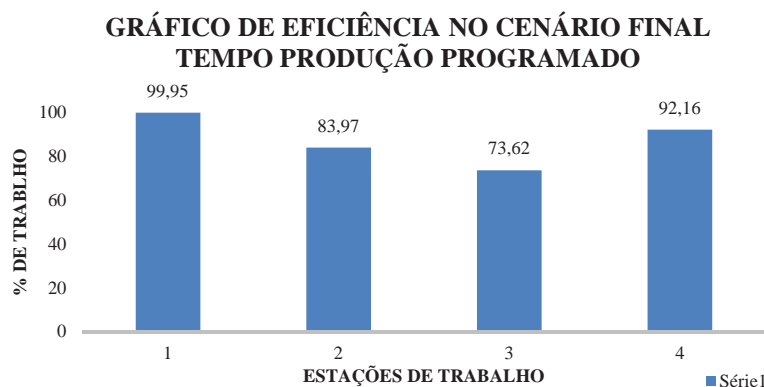
RESULTADOS DE EFICIÊNCIA MÉDIA NO CENÁRIO FINAL CONSIDERANDO TEMPO DE PRODUÇÃO PROGRAMADO					
QTDD	% DE TRABALHO NAS ESTAÇÕES				TEMPO DE PRODUÇÃO (H)
	1	2	3	4	
53	99,95	83,97	73,62	92,16	195:46:39

Fonte: Autor

Na análise dos dados observa-se a manutenção da eficiência dos processos a percentuais elevados possibilitando bons resultados às estações, apresentando também menor desorientação entre as estações.

Sob a base de resultados a Figura 4.17 apresenta o gráfico onde nota-se com melhor ênfase a tendência caracterizada.

Figura 4.17 – Gráfico do cenário final no tempo de produção programado



Fonte: Autor

Sob a apresentação do gráfico nota-se a manutenção nas eficiências das estações de trabalho alcançando melhor nivelamento entre ambas.

Com os cenários simulados e os resultados já apresentados, faz-se os comparativos entre ambos onde, a Tabela 4.21, apresenta as variações encontradas.

Nesta tabela são dispostos os resultados finais de eficiência das estações, novamente comparando-as entre si para a evidência da variação, como condição final de discussão.

Tabela 4.21 – Eficiência das estações nos cenários atual versus final

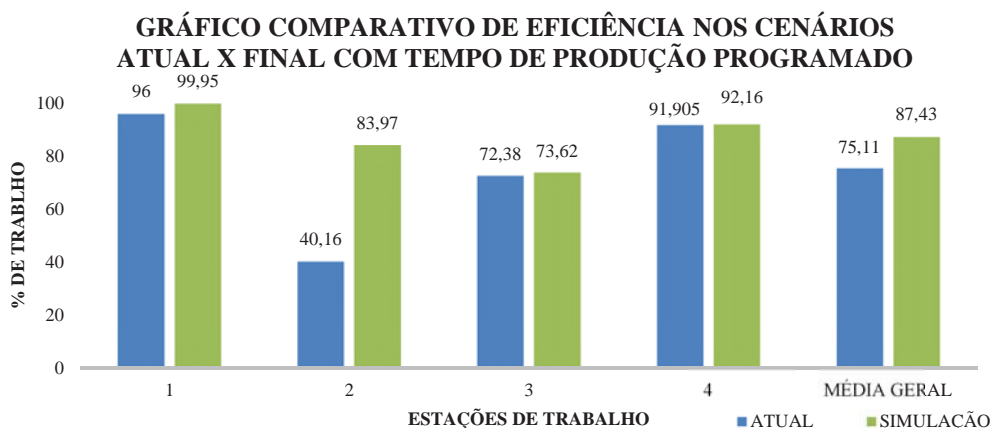
EFICIÊNCIA DAS ESTAÇÕES NOS CENÁRIOS ATUAL x FINAL CONSIDERANDO TEMPO DE PRODUÇÃO PROGRAMADO			
ESTAÇÃO	ATUAL (%)	SIMULAÇÃO (%)	MELHORIA
1	96	99,95	4,11%
2	40,16	83,97	109,09%
3	72,38	73,62	1,71%
4	91,905	92,16	0,28%
MÉDIA GERAL	75,11	87,43	28,80%

Fonte: Autor

Nota-se que os resultados mantêm as similaridades já identificadas nas comparações anteriores, mas destaca-se a evolução das médias de eficiência, validando os comentários iniciais desta seção em estudo.

Novamente são apresentados os resultados em forma gráfica, na Figura 4.18, para facilitar a visualização dos dados comparativos.

Figura 4.18 – Gráfico de trabalho nos cenários atual versus final



Fonte: Autor

A estes resultados, como considerações finais, destaca-se a manutenção de eficiências elevadas nas estações inicial e final acompanhado de ótimo resultado de recuperação da estação 02. Também, observa-se a evolução média da eficiência geral com ganhos aproximados a 10%.

Ainda, a manutenção do tempo de ciclo equivalente em ambos os cenários, atual e final, conforme apresentado na seção anterior, são condições de destaque, pois potencializam

a melhoria no desempenho de produtividade e aderência da linha e, sob esta, é desenvolvida a próxima seção do estudo onde serão verificadas as variações de produtividade no processo.

4.6.1 Verificação da produtividade

Nesta seção são considerados os resultados alcançados em relação a aderência e eficiência da linha, proporcionados pelo cenário B, e faz-se um comparativo, conforme Tabela 4.22, utilizando o tempo de produção mensal, para identificar a evolução de produção proporcionada pelos ajustes sugeridos no cenário.

Desta forma apresenta-se a produtividade, comparando os cenários atual e final, para cada estação de trabalho, onde também são apresentados os ganhos percentuais para cada etapa do processo produtivo.

Tabela 4.22 – Produção mensal nos cenários atual x final

PRODUÇÃO COMPARATIVA NAS ESTAÇÕES NOS CENÁRIOS ATUAL X FINAL COM TEMPO PROGRAMADO MENSAL			
ESTAÇÕES	QTDD PRODUZIDAS		% GANHOS
	ATUAL	SIMULAÇÃO	
1	58	61	5,17%
2	59	60	1,69%
3	61	61	0,00%
4	53	53	0,00%
CICLO	195:46:39	195:46:39	

Fonte: Autor

Com base nestes resultados torna-se possível identificar os ganhos proporcionados pela melhoria na eficiência em valores financeiros, assim, na Tabela 4.23, faz-se a conversão de valores para evidenciar os ganhos proporcionais formulados a partir das informações de cadastro no sistema de gestão da empresa.

Nesta tabela estão identificadas as estações de trabalho e seus respectivos acréscimos de produção, estes são seguidos dos custos gerais da linha alocados e proporcionais a cada posto de trabalho, respectivamente. Após aponta-se o somatório de custos, entendidos como ganhos, proporcionais às quantidades adicionais de produção alcançadas.

Tabela 4.23 – Resultados dos ganhos financeiros mensais teóricos

RESULTADOS FINANCEIROS NO CENÁRIO FINAL COM TEMPO PROGRAMADO MENSAL					
ESTAÇÃO	PRODUÇÃO ADICIONAL	CUSTO MÉDIO R\$	GANHO R\$	TOTAL/MÊS R\$	TOTAL/ANO R\$
1	3	R\$6.036,75	R\$18.110,26	R\$30.183,76	R\$362.205,12
2	1	R\$12.073,50	R\$12.073,50		
3	0	R\$13.123,80	R\$0,00		
4	0	R\$24.950,44	R\$0,00		

Fonte: Autor

Na análise dos resultados finais tem-se ganhos formulados aproximados a R\$ 362.000,00 por ano, proporcionados pelo acréscimo de produção das estações de trabalho. Nota-se, com este resultado, a afirmação das evoluções apresentadas nos gráficos de eficiência e o melhor sincronismo das operações, destacado nas simulações dos cenários.

Sob estes resultados considera-se finalizado o desenvolvimento dos estudos relacionados a linha de produção apenas agregando-se ainda a análise de investimentos correlacionados a uma possível implantação do cenário proposta ao setor de produção estudado. Esta análise é apresentada na seção seguinte.

4.6.2 Análise de investimento para aplicação prática

Em consideração a proposta de melhoria alcançada como resultado do estudo faz-se uma breve análise para fins de implantação da solução proposta onde a Tabela 4.24 apresenta alguns pontos chaves necessários para a implantação prática.

Destaca-se que o *layout* em estudo não possui complexidade para as alterações ou adequações, condições que favorecem a mudança na estrutura e destacam um baixo investimento em material e alocação de mão de obra para a execução.

Considera-se, para a nova estrutura de *layout*, a necessidade de remoção e desmontagem de uma bancada de trabalho localizada atualmente na estação 02 e a relocação de duas máquinas de solda alocadas a esta bancada. Também há necessidade de relocação ou desligamento de um colaborador sendo que, nesta análise, não será considerado o desligamento e sim o aproveitamento da mão de obra em áreas afins, tendo por base a esta definição a qualificação da mão de obra e a necessidade da empresa em melhorar seus resultados em áreas relacionadas.

Tabela 4.24 – Custos estimados para implantação do projeto

TABELA DE CUSTOS ESTIMADOS PARA IMPLANTAÇÃO DAS ALTERAÇÕES SUGERIDAS NA MODELAGEM				
	ESTAÇÕES	MO/TURNO	MÁQUINAS	BANCADA DE TRABALHO
	1	1	1	1
PROCESSO ATUAL	2	4	4	2
	3	2	2	2
	4	4	2	2
	ESTAÇÕES	MO/TURNO	MÁQUINAS	BANCADA DE TRABALHO
	1	2	1	1
PROCESSO NOVO	2	2	2	1
	3	2	2	2
	4	4	2	2
VARIAÇÃO		-1	-2	-1
GANHOS		R\$ 1.800,00	R\$ 50.000,00	R\$ 0,0
INVESTIMENTOS/PERDAS		R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 5.600,00
ADEQUAÇÃO DE LAYOUT	2 EXECUTORES		1	0
CUSTOS DE ADEQUAÇÃO/H		R\$ 150,00	R\$ 30,00	0
CUSTO TOTAL			R\$ 6.320,00	

Fonte: Autor

Através dos valores apresentados pode-se destacar que o investimento ou perda inicial chega a aproximadamente 20% do valor composto pelas reduções em mão de obra e máquinas que imediatamente deixam de ser utilizadas.

Todavia, considerando os objetivos previamente determinados a este estudo, obtêm-se resultados satisfatórios aos propósitos predefinidos, estes prospectam a utilização da modelagem na avaliação dos processos produtivos sendo possível e viável a identificação de suas potencialidades e/ou deficiências promovendo o desenvolvimento de soluções aos problemas relatados.

Finalizando o desenvolvimento do trabalho expõem-se, no próximo capítulo, as conclusões e observações pertinentes.

5 CONCLUSÕES

Ao considerar a necessidade de estudar a eficiência da linha de produção e das estações de trabalho em uma linha de produção de sistemas para descargas de granéis, bem como as demais desorientações existentes no processo produtivo, comprova-se a aplicabilidade do estudo e desenvolvimento da modelagem e simulação computacional como alternativa ao estudo e desenvolvimento de soluções às condições práticas trabalhadas.

Obtiveram-se resultados satisfatórios quanto ao desenvolvimento da modelagem computacional aplicada à linha de produção. Da mesma forma, permitiu a validação do modelo e a obtenção de resultados de produção teóricos muito similares aos analisados no processo prático.

Ainda o desenvolvimento dos cenários que possibilitou visão sistêmica da linha de fabricação, compondo a análise da aplicação dos recursos disponíveis e os resultados a estes agregados.

Ao considerar o balanceamento da linha, as ocupações das estações de trabalho, a aderência entre os postos ou operações e suas eficiências, o uso da modelagem permitiu o estudo da linha atual e o desenvolvimento de soluções pertinentes aos problemas, fornecendo resultados de melhoria expressivos no âmbito geral da linha.

Estes resultados totalizam ganhos teóricos em eficiência, quando considerada a produção de componentes do conjunto principal, aproximados a 36%, enquanto, quando considerada a produção geral da linha, somando-se componentes e produto final, observa-se melhora em eficiência a níveis de 26%.

Outros ganhos se refletem no processo produtivo e favorecem a ganhos financeiros aproximados a R\$362.000,00 por ano, onde ressaltam-se os ganhos de produtividade, que alcançam aproximadamente 1% de redução no tempo de ciclo da produção, quando a linha é modelada no seu âmbito geral.

Estes ganhos representam resultados positivos na produtividade das estações.

Para finalizar tem-se os ganhos relacionados a alocação de mão de obra, os quais alcançam valores acima R\$33.000,00 por ano, ainda a redução de um posto de trabalho da linha de produção, o qual proporciona condições de nivelamento da eficiência melhorando a aderência entre as estações e a ocupação dos postos de trabalho.

Os resultados destacam-se pela melhoria significativa na qualidade dos processos da linha de produção e melhores resultados ao cliente interno e externo, pontos expressivos para

a evolução do negócio. Ainda destaca-se viabilidades dos estudos onde não afetam o sistema produtivo antes ou durante o desenvolvimento, apenas interrompendo o processo no momento oportuno a fim de implantar uma solução já analisada e validada pela alta direção.

Considera-se como oportunidades de continuidade desta pesquisa o direcionamento a dois focos:

O primeiro alinhado a expansão da modelagem atendendo todo o processo produtivo do produto em questão, possibilitando análises de melhoria nos resultados gerais atrelados ao produto e seus processos, auxiliando ainda mais no planejamento de produção ou expansão do negócio.

Como segundo foco sugere-se ligar a simulação com PPCP permitindo a inserção de dados e codificações retiradas do sistema de programação e planejamento da produção da empresa, ou seja, retirando todos os agrupamentos de produtos sistematizados à solução desenvolvida neste estudo, permitindo a análise de outros fatores influenciadores na produtividade e eficiência do processo.

BIBLIOGRAFIA

ABED, S. Y. A Simulation Study To Increase The Capacity Of A Rusk Production Line. **WSEAS Transactions on Information Science and Applications**, Arabia Saudita, 5, n. 9, Setembro 2008. 1395 - 1404. Department of Industrial Engineering King Abdulaziz University.

ALMEIDA, C. A. et al. Modelagem matemática e simulação para otimizar o escoamento da soja brasileira exportada para a China. **Race**, Joaçaba, v. 12, n. 1, p. 199-225, Janeiro - Junho 2013.

ALMEIDA, M. S. et al. Utilização da simulação em ARENA 7.0 no auxílio ao balanceamento da célula de montagem de uma fábrica de calçados. **Enegep**, Fortaleza, 9 a 11 Outubro 2006. 8. XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção.

ANDRADE, J. T. D. D. et al. Modelagem e simulação: A aplicação da simulação em uma empresa produtora de gelo. **VII SEPRONE “A Engenharia de Produção frente ao novo contexto de desenvolvimento sustentável do Nordeste: coadjuvante ou protagonista?”**, Mossoró, 26-29 Junho 2012.

ARENA. Arena Simulation Software. **Arena**, 2016. Disponível em: <<https://www.arenasimulation.com/>>. Acesso em: 01 Março 2016.

BANGSOW, S. **Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk**. Germany: Springer, 2010.

BEM, A. R. **Análise do processo produtivo e proposta de melhoria no arranjo físico e no processo produtivo de uma indústria de mosaicos: Um estudo de caso**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, p. 64. 2013. Trabalho de Graduação.

BRIGHENTI, J. R. N. **Simulação e otimização de uma linha de manufatura em fase de projeto**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, p. 113. 2006. Dissertação de Mestrado.

CAPUTO, G.; GALLO, M.; GUIZZI, G. Optimization of Production Plan Through Simulation Techniques. **WSEAS Transactions on Information Science and Applications**, Napoly, 6, n. 3, Março 2009. 352 - 362. Department of Materials Engineering and Operations Management.

CHANG, Y.; MAKATSORIS, H. Supply chain modeling using simulation. **International Journal of Simulation and Process Modelling**, 2006. ISSN 1473-804x. Disponível em: <<http://ijssst.info/Vol-02/No-1/Chang.pdf>>. Acesso em: 09 Janeiro 2015.

CHWIF, L. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: Uma abordagem Causal**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 139. 1999. Tese de Doutorado.

CHWIF, L.; MEDINA, A. **Modelagem e simulação de eventos discretos: Teoria e aplicações**. 3. ed. São Paulo: [s.n.], 2010.

FLEXSIM. FlexSim Software de Simulação. **FlexSim**, 2016. Disponível em: <<https://www.flexsim.com/pt/>>. Acesso em: 01 Março 2016.

FREITAS FILHO, P. J. D. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. 2ª. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008. 384 p. ISBN 978-857502-228-3.

GAUSMANN, J. Manufatura Digital no Processo de Especialização de Plantas - Caso Fábrica de Silos. **Siemens PLM Connection**, Porto Alegre, 20 Outubro 2014. 33. Empresa/Organização: Kepler Weber.

LORENZI, D. F. Aplicação de Modelagem e Simulação na Manufatura de Eletrônicos Usando Plant Simulation. **Siemens PLM Connection**, Porto Alegre, 20 Outubro 2014. 22. Empresa/Organização: CITS – Centro Internacional de Tecnologia de Software.

LU, M.; WONG, L.-C. Comparison of two Simulation Methodologies in Modeling Construction Systems: Manufacturing-Oriented PROMODEL vs. Construction-Oriented SDESA. **Automation in Construction**, Hong Kong, China, v. 16, n. 1, p. 86 - 95, Janeiro 2007. ISSN 0926-5805. Department of Civil and Structural Engineering.

MEIRELLES, A. F. et al. Simulação e Layout - Um estudo de caso. **Enegep**, Salkvador, 06 a 09 Outubro 2009. 9. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção.

MOREIRA, A. F.; PITOMBEIRA NETO, A. R. Estudo de Layout em uma Empresa de Beneficiamento de Cstanha de Caju com o uso de Simulação de Eventos Discretos. **Enegep**, São Carlos, 12 a 15 Outubro 2010. 10 p.

OLIVEIRA, C. S. D. Aplicação de Técnicas de Simulação em projetos de Manufatura Enxuta, Itaúna, p. 204-217, Setembro/Dezembro 2008. ISSN 1808-7310. Disponível em: <httpwww.revistas.unisinos.br/index.php/pestudos_tecnologicos/articleview5545.pdf>. Acesso em: 23 Agosto 2014.

OLIVEIRA, R. B. M. D.; CORRÊA, V. A.; NUNES, L. E. N. D. P. Uso da Simulação Computacional com o Mapeamento do Fluxo de Valor para Auxiliar na Tomada de Decisão. **Exacta**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 47-57, 2013. ISSN 1678-5428. www.redalyc.org.

PEREIRA, A. P. A. et al. Simulação de layout aplicada ao projeto de uma linha de fundição. **abcm**, CAMPINA GRANDE, p. 11, 18-21 AGOSTO 2010. Disponível em: <www.abcm.org.br/ptwp-content/naiskonem2010/PDFCON10-2051>. Acesso em: 22 Agosto 2014.

PROMODEL. ProModel. **www.promodel.com**, 2016. Disponível em: <<https://www.promodel.com/Products/ProModel#tabbed-nav=tab1>>. Acesso em: 15 Março 2016.

SANTOS, E. S. D. **Simulação computacional no auxílio à tomada de decisão nos processos produtivos industriais: Utilizando a ferramenta Tecnomatix Plant Simulation 9.0**. Universidade /federal do Pará. Belém, p. 91. 2011. Dissertação de Mestrado.

SIEMENS. **Plant Simulations Basics, Methods and Strategies**. 10.1. ed. Sao Paulo: Siemens, v. PLT101, 2012.

SIEMENS. Plant Simulation. **Siemens**, 2016. Disponível em: <http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml>. Acesso em: 21 Fevereiro 2016.

SILVA, J. V. D. et al. Utilização do software de simulação Arena para criação de ferramentas de apoio ao ensino. **VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, Niterói, 12-13 Agosto 2011. 15. Disponível em: <http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg7/anais/T11_0398_1814.pdf>. Acesso em: 10 JANEIRO 2015.

SOARES, J. P. M. et al. Racionalização da Mão de Obra e Mudanças de Layout com apoio de Simulação Computacional: Estudo de Caso em uma Célula de Manufatura. **Enegep**, São Carlos, 12 a 15 Outubro 2010. 14. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção.

SOUZA, B. S. D. **Aplicação da simulação como ferramenta de auxílio de decisão em uma indústria têxtil de grande porte**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 139. 2010. Trabalho de Graduação.

TOLEDO JUNIOR, B. D. **Tempos & Metodos**. 10^a. ed. Mogi das Cruzes: O&M, 2004.

TOLEDO JUNIOR, B. D. **Balanceamento de Linhas**. 8^a. ed. Mogi das Cruzes: O&M, 2007. 163 p.

TOLEDO JUNIOR, B. D. **Carga de Máquina e Carga de Mão de Obra**. 9ª. ed. Mogi das Cruzes: O&M, 2007.

TOLEDO JUNIOR, B. D. **Cronoanálise**. 13ª. ed. Mogi das Cruzes: O&M, 2007. 205 p.

TOLEDO JUNIOR, B. D. **Layout**. 7ª. ed. Mogi das Cruzes: O&M, 2007. 179 p.

TOLEDO JUNIOR, B. D. Metodologia de Aplicação da Racionalização Industrial. **Racionalização Industrial**, Mogi das Cruzes, n. 1ª, p. 11-15, 2007.

TOLEDO JUNIOR, B. D. **Planejamento, Programação e Controle da Produção**. 9ª. ed. Mogi das Cruzes: O&M, 2007.

TOLEDO JUNIOR, B. D. **Produção, Produtividade e Eficiência**. 9ª. ed. Mogi das Cruzes: O&M, 2007.

TOLIO, T. et al. Virtual Factory: an Integrated Framework for Manufacturing Systems Design and Analysis. **Procedia CIRP - ScienceDirect**, Milano, Italia, 7, 2013. 25 - 30. Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013.

TRASATTI, B. V.; PORTELINHA, R. P. Análise da Eficiência Energética com o Balanceamento de uma Linha Produtiva utilizando Plant Simulation. **Siemens PLM Connection**, Porto Alegre, 20 Outubro 2014. 24. Empresa/Organização: Centro de Competência em Manufatura – ITA.

WALTER, O. M. F. C. et al. Aplicação individual e combinada dos gráficos de controle Shewhart e CUSUM: uma aplicação no setor metal mecânico. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 20, n. 2, p. 271-286, Junho 2013.

ZAMPIERI JUNIOR, J. R. **O uso da simulação como ferramenta de apoio a análises alternativas de layout visando o aumento da capacidade de produção do sistema de manufatura**. Centro Universitário da FEI. São Bernardo do Campo, p. 106. 2009. Dissertação de Mestrado.

ZULCH, G.; BECKER, M. A Simulation-Supported Approach for Man-Machine Configuration in Manufacturing. **Int. J. Production Economics**, Karlsruhe, Germany, v. 1, n. 125, p. 41 - 51, Maio 2010. ISSN 0925-5273.

APÊNDICE A – Planilha para coleta de dados em cronoanálise

A planilha apresenta a estrutura para coleta amostral de dados da produção nos trabalhos de análise de tempos de processo.

NOME DA EMPRESA....		Gerência Industrial										Tipo Transp.
		Código Produto Pai:					SPP - Sistema de Produção e Processo					
		Código Peça:										
No.	Operação	Observação	Início		Fim		Tmp Proc.(Un)	Qtdd Lote	Qtdd Oper	Distancia	Descrição	Simbolo
			Data	Hora	Data	Hora						
	▲ ○ ▽ ◻ ☆ ▽											
	▲ ○ ▽ ◻ ☆ ▽											
	▲ ○ ▽ ◻ ☆ ▽											
	▲ ○ ▽ ◻ ☆ ▽											
	▲ ○ ▽ ◻ ☆ ▽											
	▲ ○ ▽ ◻ ☆ ▽											
	▲ ○ ▽ ◻ ☆ ▽											
	▲ ○ ▽ ◻ ☆ ▽											
	▲ ○ ▽ ◻ ☆ ▽											
	▲ ○ ▽ ◻ ☆ ▽											

Fonte: Autor

APÊNDICE B – Planilha equipamentos embarcados em 2014

A planilha apresenta os resultados de vendas da empresa no ano de 2014.

EQUIPAMENTOS EMBARCADOS EM 2014														
Equipamentos	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	TOTAL	Médias
P0800021I1	9	14	12	4	7	6	3	3	2	14	8	2	84	7,00
P1000026I1	8		4	5	2	1	3	5	11	5	6	4	54	4,50
P0800018I1	4		4	1	10	1	3		1	2	2	5	33	2,75
P0800021E1	2	2	1	7	3			2	4	2	2		25	2,08
P0800018E1	3	2	1	2		2				1	2	2	15	1,25
P0450012I1	1	4	3		1			2			1	1	13	1,08
P0450012E1	2	1		5						2	3	3	16	1,33
P0350010E1		3	3	1	1							1	9	0,75
P1000026I2										1	1	2	4	0,33
P0450012E2			1			1	4		1				7	0,58
P0800018E2			2			1		1			1	1	6	0,50
P0350010E2	1	5				1							7	0,58
P0450012I2				1				1		1			3	0,25
P0800020I1	1			1				1					3	0,25
P0900021I1	1						1			1		1	4	0,33
P0800018E3								1	1	1			3	0,25
P0350010I1	3		3										6	0,50
P0800018E4					2					1		1	4	0,33
P0350010I2							1	1					2	0,17
P0100008E1									2				2	0,17
P0350010E3							2						2	0,17
P0800021E2											2	1	3	0,25
P0900022E1							2						2	0,17
P0300008E1										1			1	0,08
P0350010E4											1		1	0,08
P0350010I2							1						1	0,08
P0450012E3				1									1	0,08
P0800018E5								1					1	0,08
P0800018I2		1											1	0,08
P0800021E3							1						1	0,08
P0900021E1					1								1	0,08
P0350008E1											1		1	0,08
P0450012E4			1										1	0,08
P0450012E5	1												1	0,08
P0800018I3	1												1	0,08
P0800018E6	1												1	0,08
P0800021I2	1												1	0,08
Total Geral	39	32	35	28	27	13	21	18	22	32	30	24	321	

APÊNDICE C – Tabela demonstrativa de códigos de produtos

A planilha apresenta os códigos do equipamento correlacionados e o comprimento resultante do conjunto final.

PLATAFORMA	CHASSI TRASEIRO	TIPO	CHASSI DIANTEIRO	COMPRIMENTO
B0000339	K9700000	TUBO		10M
B0000583	K6300000	TUBO	K4200000	18M
B0000592	K6700000	TUBO	K4200000	18M
B0000594	K6800000	TUBO	K6900000	25M
B0000597	K4900000	TUBO	K4200000	21M
B0000614	K8000000	TUBO	K4200000	21M
B0000619	K8200000	TUBO	K4200000	21M
B0000654	K1040000	TUBO		26M
B0000656	K9700000	TUBO		10M
B0000657	K9700000	TUBO		10M
B0000660	K1120000	TUBO		18M
B0000661	K1070000	TUBO		12M
B0000663	K8000000	TUBO	K4200000	21M
B0000664	K1070000	TUBO		12M
B0000665	K1090000	TUBO		18M
B0000668	K1070000	TUBO		12M
B0000672	K1110000	TUBO		21M
B0000673	K1120000	TUBO		18M
B0000674	K1130000	TUBO		21M
B0000679	K1150000	TUBO	K1370000 e K1380000	18M
B0000680	K1160000	TUBO	K4200000	21M
B0000684	K1160000	TUBO	K4200000	21M
B0000695	K1250000	TUBO	K1260000	18M
B0000698	K1180000	TUBO	K1180000	10M
B0000699	K7010000	TUBO	K7000000	26M
B0000705	K1270000	TUBO	K1260000	21M
B0000706	K1270000	TUBO	K1260000	21M
B0000707	K1280000	TUBO	K1260000	21M
B0000708	K1280000	TUBO	K1260000	21M
B0000709	K1290000	TUBO	K1260000	18M
B0000710	K1290000	TUBO	K1260000	18M
B0000715	K1350000	TUBO		20M
B0000719	K1390000	TUBO		18M
B0404401	K5700000	TUBO		12M
B0468305	K1120000	TUBO		18M
B0506701	B00506702	TUBO		10M

Fonte: Autor

APÊNDICE D – Tabela de tempos de movimentação do processo

A planilha apresenta os tempos de movimentação coletados nas operações de produção.

TEMPOS DE MOVIMENTAÇÃO DA ÁREA MODELADA					
OPERAÇÃO	TEMPO		OPERAÇÃO	TEMPO	
	CARGA	DESCARGA		CARGA	DESCARGA
PONT. PERFIL (Máq. 1)	05:20	02:54	SOLDA VIGAS (Máq.3)	01:47	02:36
PONT. PERFIL (Máq. 1)	05:25	02:50	SOLDA VIGAS (Máq.3)	01:50	02:30
PONT. PERFIL (Máq. 1)	05:25	02:55	SOLDA VIGAS (Máq.3)	01:52	02:33
PONT. PERFIL (Máq. 1)	05:15	02:50	SOLDA VIGAS (Máq.3)	01:52	02:30
PONT. PERFIL (Máq. 1)	05:30	03:00	SOLDA VIGAS (Máq.3)	01:50	02:35
PONT. PERFIL (Máq. 1)	05:25	03:02	SOLDA VIGAS (Máq.3)	01:48	02:40
PONT. PERFIL (Máq. 1)	05:20	02:58	SOLDA VIGAS (Máq.3)	01:45	02:33
PONT. PERFIL (Máq. 1)	05:25	02:58	SOLDA VIGAS (Máq.3)	01:45	02:30
PONT. PERFIL (Máq. 1)	05:10	03:02	SOLDA VIGAS (Máq.3)	01:43	02:28
PONT. PERFIL (Máq. 1)	05:25	03:01	SOLDA VIGAS (Máq.3)	01:45	02:30
Média	05:22	02:57	Média	01:47	02:32
PONT. VIGA (Máq.2)	06:59	02:58	POSICIONAR VIGAS (Maq.4)	03:50	20:10
PONT. VIGA (Máq.2)	07:03	03:05	POSICIONAR VIGAS (Maq.4)	04:20	23:25
PONT. VIGA (Máq.2)	07:00	03:02	POSICIONAR VIGAS (Maq.4)	03:55	22:15
PONT. VIGA (Máq.2)	06:55	03:02	POSICIONAR VIGAS (Maq.4)	03:40	22:50
PONT. VIGA (Máq.2)	06:54	02:55	POSICIONAR VIGAS (Maq.4)	03:45	23:15
PONT. VIGA (Máq.2)	06:50	02:56	POSICIONAR VIGAS (Maq.4)	03:40	21:10
PONT. VIGA (Máq.2)	06:50	02:56	POSICIONAR VIGAS (Maq.4)	04:05	22:50
PONT. VIGA (Máq.2)	07:04	02:50	POSICIONAR VIGAS (Maq.4)	04:00	21:40
PONT. VIGA (Máq.2)	07:00	02:55	POSICIONAR VIGAS (Maq.4)	03:50	21:30
PONT. VIGA (Máq.2)	06:58	02:55	POSICIONAR VIGAS (Maq.4)	04:05	21:50
Média	06:57	02:57	Média	03:55	22:05

Fonte: Autor

APÊNDICE E – Tabela de agrupamento de dados (parte 1)

A planilha apresenta a estrutura de códigos “fantasmas” gerados para a modelagem.

TABELA DE DADOS PARA MODELO E SIMULAÇÃO						
CODIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	QTDD	TEMPO (H) NAS ESTAÇÕES			
			01	02	03	04
K1970000TRAS26	CONJ. TRAS. “PAI” - A10026	1				08:00:00
K1970000TRAS26A	CONJ. “FILHO” – A10026	1	03:10:00	02:20:00	08:42:00	
K1970000TRAS26B	CONJ. “FILHO” – A10026	1	ESTOQUE 1			
K1970000TRAS26C	CONJ. “FILHO” – A10026	1	ESTOQUE 2			
K1850000TRAS26	CONJ. TRAS. “PAI” - A10026	1				08:00:00
K1850000TRAS26A	CONJ. “FILHO” – A10026	1	03:10:00	02:20:00	08:42:00	
K1850000TRAS26B	CONJ. “FILHO” – A10026	1	ESTOQUE 1			
K1850000TRAS26C	CONJ. “FILHO” – A10026	1	ESTOQUE 2			
K8000000TRAS26	CONJ. TRAS. “PAI” - A10026	1				09:00:00
K8000000TRAS26A	CONJ. “FILHO” – A10026	1	02:50:00	02:20:00	07:38:40	
K8000000TRAS26B	CONJ. “FILHO” – A10026	1	ESTOQUE 1			
K8000000TRAS26C	CONJ. “FILHO” – A10026	1	ESTOQUE 2			
K1160000TRAS21	CONJ. TRAS. “PAI” - A8021	1				05:30:00
K1160000TRAS21A	CONJ. “FILHO” – A8021	1	02:50:00	02:20:00	07:58:00	
K1160000TRAS21B	CONJ. “FILHO” – A8021	1	ESTOQUE 1			
K1160000TRAS21C	CONJ. “FILHO” – A8021	1	ESTOQUE 2			
K8300000TRAS21	CONJ. TRAS. “PAI” - A8021	1				10:00:00
K8300000TRAS21A	CONJ. “FILHO” – A8021	1	07:05:00	06:37:00	05:44:00	
K8300000TRAS21B	CONJ. “FILHO” – A8021	1	ESTOQUE 1			
K8300000TRAS21C	CONJ. “FILHO” – A8021	1	ESTOQUE 2			
K1120000TRAS18	CONJ. TRAS. “PAI” - A8018	1				06:00:00
K1120000TRAS18A	CONJ. “FILHO” – A8018	1	04:00:00	03:20:00	04:40:00	
K1120000TRAS18B	CONJ. “FILHO” – A8018	1	ESTOQUE 1			
K1120000TRAS18C	CONJ. “FILHO” – A8018	1	ESTOQUE 2			
K9700000CHASSI10	CONJ. CHASSI “PAI” - A3510	1				05:00:00
K9700000CHASSI10A	CONJ. “FILHO” – A3510	1	01:17:00	01:50:00	02:55:00	
K9700000CHASSI10B	CONJ. “FILHO” – A3510	1	ESTOQUE 1			
K9700000CHASSI10C	CONJ. “FILHO” – A3510	1	ESTOQUE 2			

Fonte: Autor

APÊNDICE E – Tabela de agrupamento de dados (parte 2)

A planilha apresenta a estrutura de códigos “fantasmas” gerados para a modelagem (continuação).

TABELA DE DADOS PARA MODELO E SIMULAÇÃO						
CODIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	QTDD	TEMPO (H) NAS ESTAÇÕES			
			01	02	03	04
K1070000CHASSI12	CONJ. CHASSI “PAI” - A4512	1				07:00:00
K1070000CHASSI12A	CONJ. “FILHO” – A4512	1	02:20:00	02:00:00	04:40:00	
K1070000CHASSI12B	CONJ. “FILHO” – A4512	1	ESTOQUE 1			
K1070000CHASSI12C	CONJ. “FILHO” – A4512	1	ESTOQUE 2			
K4200000DIANT21	CONJ. DIANT. “PAI” - A8021	1				03:50:00
K4200000DIANT21A	CONJ. “FILHO” – A8021	1	01:20:00	00:48:00	02:00:00	
K4200000DIANT21B	CONJ. “FILHO” – A8021	1	ESTOQUE 1			
K4200000DIANT21C	CONJ. “FILHO” – A8021	1	ESTOQUE 2			
K1150000CHASSI18	CONJ. CHASSI “PAI” - A8018	1				07:05:00
K1150000CHASSI18A	CONJ. “FILHO” – A8018	1	02:35:00	02:10:00	05:42:00	
K1150000CHASSI18B	CONJ. “FILHO” – A8018	1	ESTOQUE 1			
K1150000CHASSI18C	CONJ. “FILHO” – A8018	1	ESTOQUE 2			
K1240000DIANT26	CONJ. DIANT. “PAI” A10026	1				08:00:00
K1240000DIANT26A	CONJ. “FILHO” – A10026	1	02:28:00	02:04:00	05:02:00	
K1240000DIANT26B	CONJ. “FILHO” – A10026	1	ESTOQUE 1			
K1240000DIANT26C	CONJ. “FILHO” – A10026	1	ESTOQUE 2			
K1860000DIANT26	CONJ. DIANT. “PAI” A10026	1				07:00:00
K1860000DIANT26A	CONJ. “FILHO” – A10026	1	01:50:00	01:30:00	03:04:00	
K1860000DIANT26B	CONJ. “FILHO” – A10026	1	ESTOQUE 1			
K1860000DIANT26C	CONJ. “FILHO” – A10026	1	ESTOQUE 2			

Fonte: Autor