

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**MODELAGEM DO RITMO DO TRABALHO
HUMANO EM UM PROJETO DE SIMULAÇÃO
ATRAVÉS DA CRIAÇÃO DE CENÁRIOS COM
MÚLTIPLAS DISTRIBUIÇÕES**

Flavio Fraga Vilela

Itajubá, Setembro de 2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Flavio Fraga Vilela

**MODELAGEM DO RITMO DO TRABALHO
HUMANO EM UM PROJETO DE SIMULAÇÃO
ATRAVÉS DA CRIAÇÃO DE CENÁRIOS COM
MÚLTIPLAS DISTRIBUIÇÕES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Leal

Itajubá, Setembro de 2015

Itajubá – MG

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Flavio Fraga Vilela

**MODELAGEM DO RITMO DO TRABALHO
HUMANO EM UM PROJETO DE SIMULAÇÃO
ATRAVÉS DA CRIAÇÃO DE CENÁRIOS COM
MÚLTIPLAS DISTRIBUIÇÕES**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 11 de Agosto de 2015, conferindo ao autor o título de **Mestre em Ciência em Engenharia de Produção.**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fabiano Leal (orientador)
Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins
Prof. Dr. José Arnaldo Barra Montevechi

Itajubá 2015

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais Carlos Romeu Vilela e Maria Goreti Fraga Vilela e ao meu herói José Gregório Fraga (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, que sempre me deu força e coragem para que pudesse seguir em frente com os meus objetivos.

Ao professor Fabiano Leal pela orientação dessa pesquisa e pela disponibilidade de sempre ajudar e incentivar o trabalho, motivando, sendo exigente e dando feedbacks importantes na condução da pesquisa.

Aos amigos Danilo Lopes e Renato Pontes sempre dispostos a ajudar e a incentivar o trabalho.

Ao Programa de Pós-Engenharia da CAPES, CNPq e à FAPEMIG pelo apoio e incentivo à pesquisa brasileira.

EPÍGRAFE

“ Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho e sobre ele lança toda a força de sua alma, todo o universo conspira a seu favor. ”

Johann Goethe

RESUMO

Este trabalho, com o auxílio da técnica estatística *two sample t* e o método de validação computacional, faz uma análise dos dados de saída de um modelo de simulação a eventos discretos quando diferentes distribuições estatísticas, representadas em quatro cenários, são utilizadas nos dados de entrada. O modelo simulado representa uma linha de montagem de placas eletrônicas de uma empresa do ramo da eletrônica situada na cidade de Santa Rita do Sapucaí-MG. O objetivo geral do presente trabalho é propor uma abordagem para consideração da variação do ritmo de trabalho humano em projetos de simulação a eventos discretos. Para tanto foram criados quatro cenários, cada qual com suas respectivas distribuições. Essas distribuições estatísticas foram identificadas por meio da ferramenta *StatFit*, que usou dados cronometrados da jornada de trabalho na qual a linha de montagem estava submetida. Como método de pesquisa foi usado a modelagem e simulação com o uso de dados reais. Por fim, os resultados da validação computacional mostram que, apenas houve validação para o cenário 3 (que considera 4 distribuições de probabilidade), em todas as considerações para o nível de confiança utilizada na validação, o que corrobora as premissas iniciais sobre a variação do ritmo de trabalho humano e sua influência na validação do modelo computacional. Usando o teste *two sample t* nos dados de saída do modelo computacional, pode-se constatar que os três primeiros cenários são estatisticamente diferentes um do outro. Isso aponta novamente para a influência da variação do ritmo de trabalho humano nos projetos de simulação.

PALAVRAS CHAVE: Ritmo de trabalho, Validação, Simulação a Eventos Discretos.

ABSTRACT

This work, with the help of statistical technique two sample t and computational validation method, analyzes the output data of a simulation model discrete event when different statistical distributions, represented in four scenarios, are used in the input data. The simulated model is an assembly line of electronic boards of an electronic branch of the company located in the town of Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais. The overall objective of this study is to propose an approach for consideration of the variation of human work rate in simulation projects discrete event. Therefore, we created four scenarios, each with their respective distributions. These statistical distributions were identified through StatFit tool, which used timed data of the working day in which the assembly line was submitted. As a research method was used to modeling and simulation using real data. Finally, the results of computational validation show that there was only validation for scenario 3 (which considers 4 probability distributions), in all respects to the confidence level used in the validation, which confirms the initial assumptions about the change in pace of human labor and its influence on the validation of the computational model. Using two sample t test output data in the computational model, it can be seen that the first three scenarios are statistically different from one another. This points again to the effect of the variability of human labor rate in simulation projects.

PALAVARAS KEY: Pattern of work, Validation, Simulation Discrete Event.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Sequência de passos para a simulação, segundo Montevechi	21
Figura 2.2 – A verificação e validação em um projeto de simulação.....	27
Figura 2.3 – Modelo de desempenho humano relacionado ao ritmo circadiano.....	35
Figura 3.1 – Tipos de pesquisas científicas.	38
Figura 3.2 – Classificação da pesquisa quantitativa.....	40
Figura 3.3 – Modelo de pesquisa para simulação.	43
Figura 3.4 – Trecho da sequência de passos para a simulação.....	45
Figura 4.1 – Variação do ritmo de trabalho em função do dia da semana.....	51
Figura 4.2 – Variação do tempo de processamento em função do tipo de atividade.....	52
Figura 5.1 – IDEF-SIM da linha de montagem das placas eletrônicas.	54
Figura 5.2 – Seleção do tipo de distribuição estatística.....	56
Figura 5.3 – Visualização gráfica do modelo computacional.....	57
Figura 5.4 – Trecho da lógica de processamento.....	58
Figura 5.5 – Método de coleta de tempos para o cenário 1.....	59
Figura 5.6 – Método de coleta de tempos para o cenário 2.....	59
Figura 5.7 – Método de coleta de tempos para o cenário 3.....	60
Figura 5.8 – Método de coleta de tempos para o cenário 4.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Simbologia usada na técnica proposta IDEF-SIM.....	24
Tabela 4.1a– Esquema coleta de dados.....	48
Tabela 4.1b– Esquema coleta de dados.....	48
Tabela 4.2 – Comparações usando o teste <i>two sample t</i>	50
Tabela 6.1a– As 30 réplicas do total produzido por semana de cada cenário	62
Tabela 6.1b– As 30 réplicas do total produzido por semana de cada cenário.....	63
Tabela 6.2 – Parâmetros para os quatro cenários.....	63
Tabela 6.3 – Resultado da validação para os quatro cenários.....	64
Tabela 6.4 – Comparação entre os totais produzidos semanalmente.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS

MEI	<i>Média estatisticamente igual</i>
MED	<i>Média estatisticamente diferente</i>
PTH	<i>Pin through hole</i>
FCT	<i>Functional testing</i>
ICT	<i>In-circuit test</i>
CQP	<i>Controle de qualidade da produção</i>
CQF	<i>Controle de qualidade final</i>

Sumário

1. Introdução	14
1.1. Contextualização	14
1.2. Objetivos, delimitação do problema e hipóteses	14
1.3. Justificativa	16
1.4. Estrutura do trabalho	16
2. Fundamentação teórica.....	18
2.1. Modelagem e Simulação a Eventos Discretos	18
2.1.1. Etapas sugeridas para a simulação	20
2.1.1.1 Conceituação	22
2.1.1.2. Implementação computacional.....	26
2.1.1.3. Análise.....	31
2.2. Teoria do desempenho relacionada ao ritmo circadiano	32
2.2.1. Identificação dos fatores humanos	33
2.2.2. Características do fator humano	35
2.2.3. Teoria do desempenho humano relacionado à aprendizagem e fadiga	36
2.3. Considerações Finais.....	37
3. Método de pesquisa.....	38
3.1. Considerações iniciais	38
3.2. Classificação da pesquisa	38
3.3. Método de pesquisa quantitativo: modelagem e simulação	39
4. Coleta e análise dos tempos	47
4.1. Considerações iniciais	47
4.1.1. Coleta dos dados.....	48
4.2. Análise pré-simulação	49
4.2.1. Teste <i>two sample t</i> dos dados de entrada.....	49
4.2.2. Análise Gráfica da variação do ritmo de trabalho humano	51
5. Simulação a eventos discretos.....	54
5.1. Modelo conceitual IDEF-SIM.....	54
5.2. Modelagem dos dados de entrada	55
5.3. Modelo computacional.....	57
5.4. Cenários.....	59
6. Resultados	62
6.1. Análises pós-simulação	62
6.1.1. Validação do modelo computacional	63
6.1.2. Comparação usando o teste <i>two sample t</i> entre os cenários	65

7. Conclusões	68
7.1. Verificação dos objetivos	68
7.2. Sugestão para Trabalhos Futuros	70
Referências bibliográficas	71
Anexo 01 – Tabela de distribuição de probabilidade	76

1. Introdução

1.1. Contextualização

As organizações enfrentam uma pressão constante para melhorar os produtos, instalações, tecnologias e métodos de trabalho. Os ambientes industriais são projetados e criados por engenheiros que usam uma combinação de julgamento, negociação e análise para avaliar os projetos que criam. A interação dos recursos humanos implica que o comportamento dinâmico de um sistema é muito difícil de determinar. A simulação computacional permite a modelagem de sistemas, possibilitando assim melhores previsões de desempenho (BAINES *et al.*, 2004).

A simulação computacional é tradicionalmente centrada nos aspectos tecnológicos dos sistemas (por exemplo, máquinas, correias transportadoras). Tais modelos de simulações, no entanto, frequentemente, tendem a superestimar a capacidade produtiva dos sistemas de produção. Isto pode causar graves problemas, quando o sistema proposto é implementado e em seguida, não consegue atender às expectativas (BAINES *et al.*, 2004).

Na maioria das vezes a simulação a eventos discretos trata os operadores como meros recursos simples. Isto apresenta um problema na modelagem de sistemas de produção, especialmente se a atividade considerada tiver uma alta parcela manual, como no caso de uma linha de montagem (BAINES *et al.*, 2004).

Para melhorar a precisão da simulação é necessário representar da melhor forma possível, o comportamento do operador e seu subsequente desempenho. Vale ressaltar que o desempenho do operador é diretamente influenciado por seu ritmo circadiano.

Com o intuito de diminuir esse erro de previsão, e tornar os modelos mais próximos do desempenho do sistema real, inicialmente foi identificada uma série de fatores que podem influenciar o comportamento do operador ao longo do turno de trabalho. Embora atualmente exista uma variedade de teorias relacionadas aos fatores que podem influenciar o desempenho humano, existe uma lacuna no que se refere à modelagem e simulação do desempenho humano.

O presente trabalho de pesquisa foi realizado em uma empresa de médio porte, situada no Vale da Eletrônica, localizado no sul de Minas Gerais, na cidade de Santa Rita do Sapucaí e baseia-se na suposição de que a variação do trabalho humano é a causa de uma grande disparidade entre as previsões de simulação e desempenho no mundo real.

1.2. Objetivos, delimitação do problema e hipóteses

A pesquisa tem como objetivo geral propor uma abordagem que utiliza distribuições de probabilidade de cada período do dia para consideração da variação do ritmo de trabalho humano em projetos de simulação a eventos discretos. A premissa é que a captação da variação do ritmo de trabalho humano, através do uso de várias distribuições de

probabilidade para os tempos operacionais, pode melhorar a confiabilidade do modelo, demonstrada através de um teste de validação.

Este trabalho, também possui alguns objetivos específicos. São eles:

- Demonstrar a variação do ritmo do trabalho humano para o contexto do objeto de estudo.
- Avaliar se há diferença estatística, por meio do teste *two sample t*, entre as médias dos tempos cronometrados na parte da manhã quando comparadas com as da parte da tarde.
- Comparar os resultados do teste de validação do modelo de simulação, considerando os diferentes cenários definidos nesta pesquisa.

Como delimitação do problema é válido ressaltar que o presente trabalho não tem o objetivo de aplicar nenhum modelo para representar o fator humano. Fez-se uma abordagem sobre a modelagem dos dados de entrada, de acordo, com uma sistemática que divide os dados cronometrados em quatro grupos que tem como correspondência alguns horários pré-definidos, de tal forma a diminuir a perda de informações sobre o ritmo do trabalho humano.

Cinco hipóteses foram definidas para esta pesquisa. Estas hipóteses serão confirmadas ou não, ao longo do trabalho. São elas:

- 1) A média dos tempos de processamento da parte da manhã é diferente da média dos tempos de processamento da parte da tarde, para todas as etapas. Essa hipótese tem o propósito de mostrar se existe uma variação do ritmo de trabalho humano no decorrer do dia para as etapas consideradas.
- 2) A média da produção semanal do cenário 3 é igual a média da produção semanal real. Essa hipótese tem o propósito de mostrar se quantidade produzida de placa no final da semana para o cenário 3, que representa o cenário mais dividido, é igual a média da produção real.
- 3) A média da produção semanal do cenário 1 é diferente da média da produção semanal do cenário 2.
- 4) A média da produção semanal do cenário 1 é diferente da média da produção semanal do cenário 3.
- 5) A média da produção semanal do cenário 2 é diferente da média da produção semanal do cenário 3.

As últimas hipóteses têm o objetivo de mostrar que a comparação entre todos os cenários é diferente, pois, para cada cenário utilizou-se uma combinação de distribuições de probabilidade.

1.3. Justificativa

Em muitos projetos de simulação a eventos discretos, o processo de tomada de tempos é feito de forma simplificada em que o cronoanalista, na maioria das vezes, não segue nenhum critério na hora de fazer as medições dos tempos de processamento da atividade que será modelada. As consequências vão aparecer no momento em que o especialista em simulação realizar a validação do modelo computacional, resultando em disparidades entre as saídas desse modelo e as saídas do mundo real. Segundo Baines (2004) a variação do ritmo de trabalho humano é a causa de uma grande percentagem da disparidade entre as previsões de simulação e o desempenho no mundo real.

Os autores Xie *et al.* (2014) afirmam que, quando se usa a simulação para estimar o desempenho de um sistema estocástico, a falta de fidelidade nos modelos aleatórios de entrada pode levar a estimativas de desempenho do sistema pouco confiáveis

Espera-se verificar com esta pesquisa se a realização da abordagem proposta de coleta e modelagem dos dados de entrada poderia melhorar os resultados da simulação quando comparados aos dados reais. A premissa é que, a captação da variação do ritmo de trabalho humano, através do uso de várias distribuições de probabilidade para os tempos operacionais, pode melhorar a confiabilidade do modelo, demonstrada através de um teste de validação. Esse efeito da possível influência da variação do ritmo do trabalho humano será quantificado, considerando-se diferentes distribuições de probabilidade no decorrer do dia e da semana inseridas no modelo computacional, por meio de comandos específicos do software de simulação Promodel®.

1.4. Estrutura do trabalho

Este trabalho de dissertação está estruturado em mais 6 capítulos. O **Capítulo 2** apresenta a fundamentação teórica desta pesquisa. Buscou-se descrever os elementos fundamentais nesta pesquisa sobre simulação a eventos discretos, as etapas sugeridas, modelagem, verificação e validação computacional, ritmo de trabalho e o fator humano. Dessa forma, uma revisão da literatura foi realizada em periódicos nacionais e internacionais, artigos de congressos, livros, teses e dissertações.

No **Capítulo 3** é apresentado o método de pesquisa que orientou a elaboração deste trabalho.

O **Capítulo 4** descreve a forma como foram obtidos os tempos de processamento. Também, apresenta as análises pré-simulação. Ou seja, neste capítulo é mostrado uma tabela que servirá para demonstrar a resposta da primeira hipótese dessa pesquisa. Também é apresentado um gráfico, que aponta para conclusões sobre a variação do ritmo de trabalho humano, em função de uma das etapas do processo produtivo em função da semana.

O **Capítulo 5** apresenta o modelo conceitual (IDEF-SIM), a modelagem dos dados de entrada e o modelo computacional usado na dissertação. Também mostra os quatro cenários que foram considerados.

O **Capítulo 6** apresenta os resultados obtidos neste trabalho. Ou seja, são apresentados os resultados pós-simulação, no que tange a validação do modelo computacional para os quatro cenários e um teste *two sample t* entre os mesmos, para se chegar nas conclusões finais. É neste capítulo que são demonstradas as respostas para as outras hipóteses apresentadas no Capítulo 1.

O **Capítulo 7** finaliza este trabalho apresentando a conclusão e considerações práticas, sobre a modelagem dos dados de entrada em projeto de simulação a eventos discretos, sendo seguido pelas referências bibliográficas e os Anexos.

2. Fundamentação teórica

2.1. Modelagem e Simulação a Eventos Discretos

Segundo Harrel, Ghosh e Bowden (2004), a simulação é a imitação de um sistema real modelado em computador para posterior realização de experimentos para avaliação e melhoria de seu desempenho.

Para Banks *et al.* (2010), a simulação a eventos discretos é a criação e a observação de uma história de um sistema real para gerar inferências referentes a ele.

Leal (2003), define simulação como a representação de um procedimento em um tempo menor do que levaria no cenário real e com menor custo, favorecendo a previsão do comportamento do sistema para que se possam tomar as devidas ações corretivas visando à redução de custos.

Segundo Bloomfield *et al.* (2012), o fato de a simulação a eventos discretos simular o comportamento de sistemas sem que ele exista fisicamente, reduz drasticamente o custo de desenvolvimento desse sistema.

A vantagem dessa operação é que o software de simulação computacional procura repetir o mesmo comportamento que o processo real teria nas mesmas condições. O modelo de simulação computacional é utilizado, particularmente, como uma ferramenta para obter-se respostas a sentenças do tipo: “o que ocorre se...”. (CHWIF e MEDINA, 2010).

A Modelagem e simulação ajuda visualizar, avaliar, implementar, modificar e melhorar o complexo processos de produção, usando animações de computador dentro de um tempo e investimento razoável. (Sandanayake, Oduoza, e Provérbios 2008; Sandanayake e Oduoza 2009).

Ryan e Heavey (2006) apontam, a simulação como uma das técnicas de pesquisa mais utilizada devido, principalmente, à sua versatilidade, flexibilidade e poder de análise.

Banks *et al.* (2005) afirmam que, a simulação tem se tornado uma das técnicas mais populares, para se analisar problemas complexos. Atualmente, com a evolução dos estudos na área, a simulação a eventos discretos vem sendo cada vez mais utilizada e os benefícios com ela obtidos têm gerado impactos nos mais diferentes sistemas (MIRANDA *et al.*, 2010).

Segundo Hillier e Lieberman (2010), a simulação é uma técnica extremamente versátil, podendo ser utilizada para investigar praticamente qualquer tipo de sistema estocástico. Essa versatilidade fez da simulação a técnica de pesquisa operacional mais utilizada para estudos que lidam com sistemas estocásticos. Ainda, segundo estes autores, devido à enorme diversidade de sua aplicação, é praticamente impossível enumerar todas as áreas nas quais a simulação vindo sendo utilizada.

Tomando-se como referência os anais da *Winter Simulation Conference (WSC)*, Banks *et al.* (2005) e Hillier e Lieberman (2010) apresentam algumas categorias particularmente importantes de aplicações da simulação. Entre as principais categorias, destacam-se: projeto e operações em manufatura, gerenciamento de projetos e construção civil, logística, *supply chain* e redes de distribuição, administração do sistema de estoques, modelagem de transporte e tráfego, análise de riscos, aplicações médicas, aplicações militares e aplicações nas mais diversas áreas de serviços, tais como: serviços governamentais, bancos, hotelaria, restaurantes, instituições educacionais, entre outros.

Segundo Banks *et al.* (2005), inúmeras são as vantagens proporcionadas pela simulação, embora esta, também apresente algumas desvantagens. Pinho (2008) e Torga (2007) afirmam que, se comparada a modelos matemáticos, as vantagens proporcionadas pela simulação a eventos discretos são enormes. Principalmente, no que diz respeito à sua conceituação de fácil compreensão e à possibilidade de comparação virtual, trazendo maiores contribuições para o objeto em estudo.

Segundo Law (2009), a simulação é uma alternativa à experimentação direta no sistema real, evitando, assim, os custos devidos à experimentação real e à interrupção do fluxo de atividades do sistema real.

Chwif e Medina (2010) ressaltam que, devido à grande complexidade dos modelos de manufatura, devido à sua natureza dinâmica e aleatória, um modelo de simulação permite reproduzir em um computador o mesmo comportamento que o sistema teria se submetido às mesmas condições de contorno.

Segundo Reeb e Leavengood (2003), a simulação deve ser utilizada quando não é possível realizar uma experimentação com o sistema real, quando outros modelos não funcionariam, quando é necessário analisar como os sistemas operam em um determinado período de tempo ou deseja-se comparar projetos alternativos.

De acordo com Greasley (2003), a animação da simulação pode ser utilizada para comunicar para os diretores, clientes e funcionários o “antes” e o “depois” da implantação de um novo projeto, mostrando como as mudanças afetarão o processo na prática. Os mesmos autores afirmam também que, a animação da simulação pode ser utilizada para treinar funcionários, diante de uma nova operação do sistema e permitir que eles criem uma visão geral dos benefícios da mudança, a partir da visão do modelo em execução.

Além de todas as vantagens citadas, Banks *et al.* (2005) destacam:

- Novos projetos de equipamentos, definições de layouts e sistemas de transportes podem ser testados via simulação, sem consumo de recursos ou aquisição de equipamentos;
- Fornecer uma maior compreensão sobre interações entre variáveis e a importância de seus efeitos no sistema;

- Análises de gargalo, podem ser realizadas para se descobrir onde estoque em processo, informações e materiais estão em excesso;
- O estudo de simulação pode auxiliar no entendimento de como o sistema opera como um todo, ao invés de como operam suas partes;
- Questões “*What if*” podem ser respondidas, o que é particularmente útil no design de novos sistemas.

Segundo Carson (2004), frequentemente a simulação consome tempo, os dados não estão disponíveis ou são caros de se obter, e o tempo disponível para as tomadas de decisões não são suficientes para um estudo seguro. Em algumas situações, as animações e outras exibições visuais, combinadas com a pressão de tempo em todos os projetos, podem enganar os tomadores de decisão com conclusões prematuras baseado em evidências insuficientes.

Além disso, vale ressaltar que, a simulação por mais que apresente algumas restrições de aplicação, se usada corretamente é uma força poderosa para a aprendizagem organizacional, segundo Stansfield *et al.* (2014).

Embora, os vendedores de softwares de simulação tenham desenvolvido pacotes que exigem somente a entrada de dados para sua operação (modelos genéricos), simulação não é só conhecimento de software. Um estudo de simulação é uma atividade sofisticada de análise do sistema que exige que o analista tenha, ainda que, mínimo conhecimento do método de simulação (validação de modelos, seleção de distribuições de probabilidade para entrada de dados, projeto e análise de experimentos simulados, etc.), teoria da probabilidade, estatística, gerenciamento de projetos, e conhecimento detalhado das operações do sistema a ser estudado (LAW, 2003).

Segundo Siebers (2004), devido à complexidade dos sistemas reais, um modelo de simulação é apenas uma cópia restrita do sistema real. Para Robinson (1994), deve-se incluir em um modelo o mínimo de detalhes necessários para se atingir o objetivo do projeto. Por outro lado, o mesmo autor adverte que a simplificação e a abstração de um modelo, muitas vezes, levam a alguma perda na exatidão e afirma que, seria muito útil estimar a extensão dessa perda.

2.1.1. Etapas sugeridas para a simulação

Alguns autores, apresentam uma sequência de passos, contrariando uma falsa ideia de que, a simulação consiste na programação computacional de um modelo. A Figura 2.1 apresenta um modelo proposto por Montevechi *et al.* (2010a).

Sabe-se que, a simulação envolve muito mais que a simples construção de um programa, sendo esta, atividade apenas uma, dentre as inúmeras atividades de um estudo de simulação. Na etapa de concepção, o analista de simulação deve entender claramente o sistema a ser simulado e os seus objetivos, através da discussão do problema com os especialistas. Nesta etapa deve-se fazer a modelagem conceitual, que poderá ser realizada usando-se várias técnicas. É de extrema importância nessa etapa de concepção realizar

uma correta e criteriosa obtenção dos dados de entrada, pois, eles são uma base importante do modelo e a validação do modelo computacional pode depender da forma como os mesmos serão considerados. Questões como, o nível de detalhe pretendido no modelo é discutido. Kleijnen (1995) afirma que, a escolha do sistema a ser simulado exige que, o analista do problema decida subjetivamente os limites do sistema e os atributos a serem quantificados no modelo.

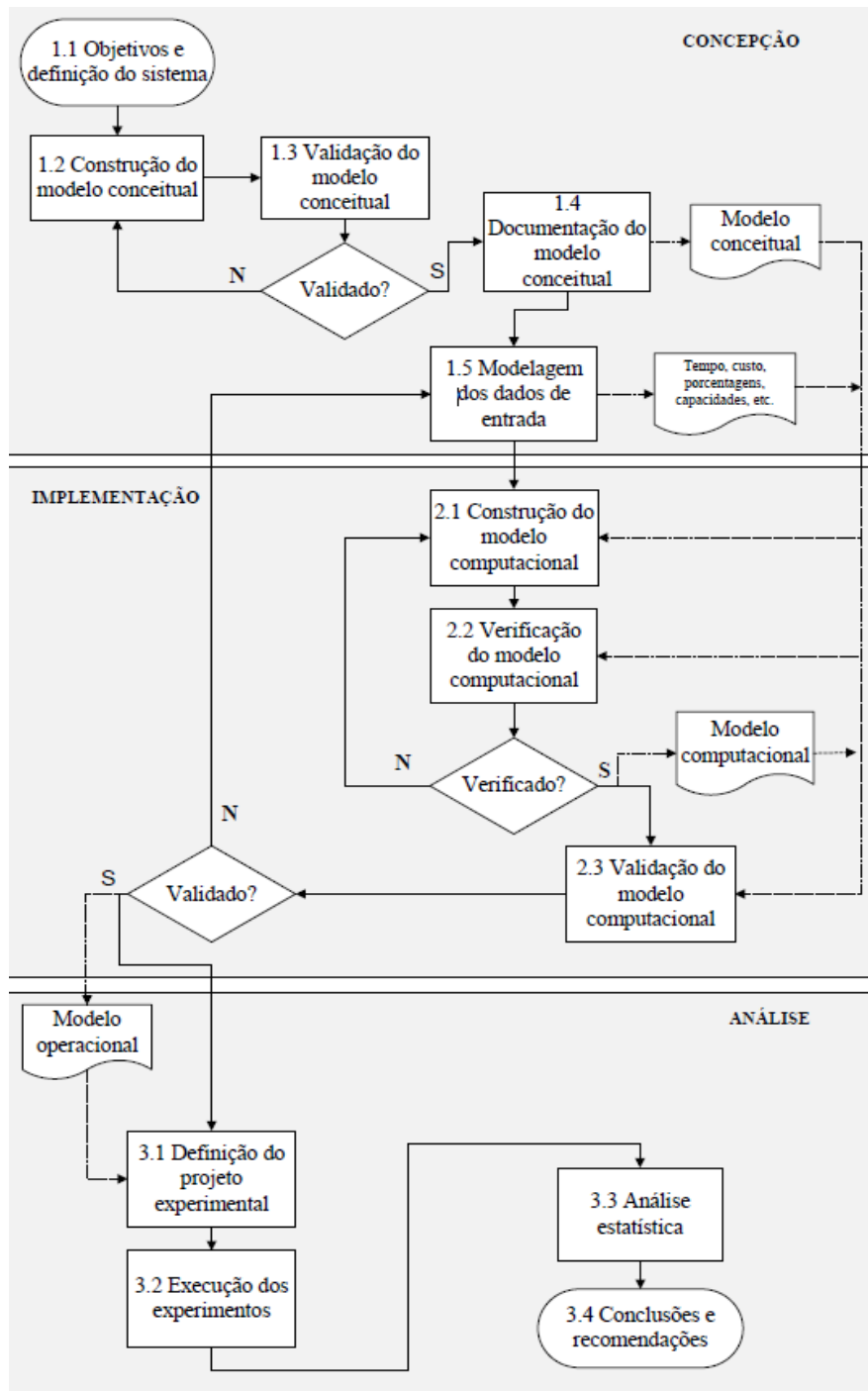


Figura 2.1 - Sequência de passos para a simulação, segundo Montevechi

Fonte: Adaptado de Montevechi *et al.* (2010a)

Na etapa de concepção, o modelo que está na mente do analista (modelo abstrato), deve ser representado, de acordo, com alguma técnica de representação de modelo de simulação, a fim de, torná-lo um modelo conceitual, de modo que, outras pessoas possam entendê-lo. Os dados de entrada também devem ser coletados nesta fase.

Nelson, Song e Pegden (2014) afirmam que, a incerteza sobre os dados de entrada refere-se ao efeito de não saber as verdadeiras distribuições de probabilidades corretas dos processos estocásticos básicos, que dirigem a simulação.

Na segunda etapa, o modelo conceitual, é convertido em um modelo computacional através da implementação no computador, com a utilização de uma linguagem de simulação ou de um simulador comercial.

O modelo computacional deve, ainda, ser verificado contra o modelo conceitual, a fim de avaliar se está operando de acordo com o pretendido. Alguns resultados, devem ser gerados para validar o modelo computacional, observando se o modelo é uma representação adequada da realidade (dentro dos objetivos da simulação).

Na terceira etapa, após a verificação e validação do modelo computacional, este está pronto para a realização dos experimentos, dando origem ao modelo experimental, ou como também é chamado, modelo operacional.

2.1.1.1 Conceituação

A modelagem conceitual corresponde a uma fase da simulação a eventos discretos, como mostram os autores Chwif e Medina (2006), porém os mesmos afirmam em seu trabalho que “(...) a etapa de criação do modelo conceitual é o aspecto mais importante de um estudo de simulação (...) embora muitos livros e muitos analistas pulem esta etapa”.

Em seu trabalho, Sargent (2004), procura explicar a diferença entre o modelo conceitual e o modelo computacional. Segundo este autor, o modelo conceitual é representação matemática, lógica ou verbal do problema, e o modelo computadorizado é o modelo conceitual implementado em um computador.

Para Balci (2003), o modelo conceitual pode ser utilizado como uma ferramenta de controle aos requerimentos do processo de modelagem e simulação, para avaliar conceitos de simulação, eficácia e erros, como base para o projeto de modelagem e simulação, além de, auxiliar no processo de verificação e validação do modelo computacional.

Para Hernandez-Matias *et al.* (2008), não há um único método de modelagem conceitual que pode modelar completamente um sistema complexo de manufatura. Como resultado das limitações destas técnicas, diferentes métodos integrados de modelagem têm sido desenvolvidos.

Em seu trabalho Robinson (2013) diz que, uma das questões mais difíceis na modelagem é determinar o conteúdo do modelo de simulação. O trabalho do modelista é entender o sistema real, que é o tema do estudo de simulação e transformar isso em um modelo de simulação apropriado. O modelo escolhido pode variar de uma forma muito simples até uma forma bem mais complexa. Com efeito, há um número infinito de modelos que

poderiam ser selecionados dentro desta faixa, cada um com um conteúdo ligeiramente diferente. A pergunta é: qual o modelo devemos escolher para se representar a realidade de um dado contexto?

Chwif, Paul e Barreto (2006) propõem, uma técnica para redução da complexidade de um modelo de simulação a eventos discretos já na fase de modelagem conceitual. A importância do modelo conceitual também é destacada no trabalho de Zhou, Zhang e Chen (2006). Neste trabalho, os autores propõem que, a automação pode auxiliar na melhoria dos resultados da utilização de modelos conceituais, em simulação.

Segundo o *Federal Information Processing Standards Publications*, durante os anos 70, o *Program for Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM)*, da Força Aérea Norte Americana, buscou aumentar a produtividade da manufatura, através de aplicação sistemática de tecnologia de computação. O ICAM identificou a necessidade de uma melhor análise e técnicas de comunicação para as pessoas envolvidas em programas de melhoria de produtividade em manufatura. Como resultado, o ICAM desenvolveu uma série de técnicas conhecidas como IDEF (*Integrated Definition Methods*). Estas técnicas, foram definidas da seguinte forma:

- IDEF0: utilizada para produzir um modelo funcional. Um modelo funcional é uma representação estruturada de funções, atividades ou processos, dentro de um sistema modelado ou definida área;
- IDEF1: utilizada para produzir um modelo de informações. Um modelo de informações representa a estrutura e a semântica das informações dentro de um sistema modelado ou definida área;
- IDEF2: utilizada para produzir um modelo dinâmico. Um modelo dinâmico representa o comportamento, variando no tempo, das características de um sistema modelado ou definida área;
- IDEF3: segundo Ryan e Heavey (2006), a técnica permite a captura e representação com elementos gráficos, tanto para a transição de estados em um sistema de eventos discretos, como para, a representação das atividades associadas com cada estado de transição. Tseng *et al.* (1999) fizeram algumas simplificações e adaptações no IDEF3, visando a sua utilização, no caso específico das operações de serviço. Estas modificações, realçaram a questão da interação cliente-processo.

Segundo Hernandez-Matias *et al.* (2008), a flexibilidade do método reside na capacidade de permitir uma análise de sistemas complexos, na qual há a necessidade do estudo de múltiplos níveis de detalhe.

O IDEF0 (*Integration Definition language 0*) é baseado no SADT (*Structured Analysis and Design Technique*). Na sua forma original, o IDEF0 inclui a definição de uma linguagem de modelagem gráfica (sintaxe e semântica) e uma descrição para uma metodologia de desenvolvimento de modelos. O IDEF0 pode ser utilizado para analisar as funções do sistema e registrar os mecanismos (meios) pelos quais as funções são executadas.

Uma das características do IDEF3, ao contrário do IDEF0, é o fato de os eventos ou atividades serem descritos na verdadeira ordem na qual estes ocorrem, levando em consideração, as precedências temporais. Ainda, segundo Mayer *et al.* (1995), o principal símbolo do IDEF3 é a unidade de comportamento UOB (*Unit of Behavior*), representado por um retângulo. Além disso, o IDEF3 registra o aspecto temporal através de lógicas representadas nas chamadas “junções”, fazendo uso da lógica *booleana*.

Embora as técnicas IDEF sejam aptas à modelagem de sistemas, quando utilizadas em projetos de simulação elas deixam de registrar aspectos importantes, por não terem sido estruturadas para o mesmo.

Utilizando-se e adaptando-se parte da lógica do IDEF0 e IDEF3, além da inclusão de novos símbolos, apresenta-se a seguir a técnica chamada de IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods – Simulation*), que tem como foco o projeto de simulação.

A Tabela 2.1 apresenta os elementos e a simbologia utilizada. Observa-se que os elementos IDEF0 e IDEF3 foram utilizados, além de um símbolo do fluxograma de processo. Vale destacar que, o uso destes símbolos foi adaptado às necessidades encontradas em projetos de simulação.

Esta técnica foi publicada pela primeira vez em Leal *et al.* (2008), porém, somente em casos hipotéticos. A seguir, detalha-se a função de cada elemento apresentado.














Elementos	Simbologia	Técnica de origem
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)
Funções		IDEF0
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3
Recursos		IDEF0
Controles		IDEF0
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 &	Regra E
	 X	Regra OU
	 O	Regra E/OU
Movimentação		Fluxograma
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema modelado		
Ponto final do sistema		
Conexão com outra figura		

Tabela 2.1 - Simbologia usada na técnica proposta IDEF-SIM

a) Entidade: são os itens a serem processados pelo sistema, representando matéria-prima, produtos, pessoas, documentos, entre outros. Elas podem ser agrupadas ou divididas ao longo do processo produtivo e são movimentadas por meios próprios ou por meio de recursos. Uma vez representada, o símbolo somente aparecerá no momento em que uma nova entidade for criada. Desta forma, torna-se claro o número de entidades a ser utilizada e em que pontos do modelo a entidade sofrerá uma transformação;

b) Funções: representam os locais onde a entidade sofrerá alguma ação. Entende-se como funções postos de trabalho, esteiras de movimentação, filas e estoques, postos de atendimento. Estas funções podem modificar uma entidade, como no caso de postos de trabalho, ou mesmo alterar o ritmo de tempo desta entidade no fluxo, como uma espera (fila, estoque);

c) Fluxo da entidade: direcionamento da entidade dentro do modelo, caracterizando os momentos de entrada e saída da entidade nas funções;

d) Recursos: representam elementos utilizados para movimentar as entidades e executar funções. Os recursos podem representar pessoas ou equipamentos. Em um sistema pode haver recursos estáticos ou dinâmicos. Os recursos estáticos não são dotados de movimento. Os recursos dinâmicos, por sua vez, podem se mover sobre um caminho definido;

e) Controles: regras utilizadas nas funções, como sequenciamento, regras de filas, programações, entre outros;

f) Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos: estas regras são chamadas de junções, na técnica IDEF3. Dois ou mais caminhos, após uma função, podem ser executados juntos (junção E), ou de forma alternativa (junção OU), ou permitindo ambas as regras (junção E/OU);

g) Movimentação: representa um deslocamento de entidade, no qual, o modelador acredita possuir efeito importante sobre o modelo. Ao representar este elemento, espera-se encontrar no modelo computacional uma programação específica para este movimento, como tempo gasto e recurso utilizado;

h) Informação explicativa: utilizado para inserir no modelo uma explicação, com o objetivo de facilitar o entendimento do modelo;

i) Fluxo de entrada no sistema modelado: define a entrada ou criação das entidades dentro do modelo;

j) Ponto final do sistema: defini o final de um caminho dentro do fluxo modelado;

k) Conexão com outra figura: utilizado para dividir o modelo em figuras diferentes. Através da utilização e adaptação de elementos lógicos já utilizados nas técnicas de modelagem IDEF0 e IDEF3, além da criação de novos elementos, esta técnica proposta permite a elaboração de modelos conceituais com informações que facilitam a elaboração dos modelos computacionais em projetos de simulação.

Segundo Silva *et al.* (2014), na fase conceitual, a equipe do projeto define os objetivos específicos e o alcance do modelo. Em seguida, o modelo conceitual é construído com o objetivo de representar o sistema atual, e para tanto o uso do IDEF-SIM torna a construção do modelo de simulação mais fácil, tal como referido em Montevechi *et al.* (2010a). Uma vez que, o modelo conceitual foi construído e validado pelos especialistas do processo, as variáveis de entrada (independentes) e as variáveis de saída (dependentes) podem ser definidas.

Ainda segundo Montevechi *et al.* (2010a), a principal característica do IDEF-SIM é a semelhança da sua lógica de aplicação com a lógica usada em simulação de eventos discretos. Essa característica, tem como objetivo a criação de um modelo conceitual do processo a ser simulado que contém os elementos necessários na fase de modelagem por computador.

Na modelagem dos dados de entrada o objetivo é se obter modelos probabilísticos que permitam inferir as propriedades de um dado fenômeno aleatório.

Após coletados os dados, estes devem ser tratados. O tratamento consiste em se utilizar técnicas para descrever os dados levantados, identificar as possíveis falhas nos valores amostrados e aumentar o conhecimento à cerca do fenômeno. Nesta fase, torna-se comum o uso de pacotes comerciais (*best fitting*).

Após a coleta dos dados e análise, deve-se inferir qual o comportamento da população a partir de uma amostra. Como resultado, tem-se um modelo probabilístico que representará o fenômeno aleatório em estudo e este será incorporado ao modelo de simulação.

Law (2013) afirma que, uma parte importante, mas muitas vezes negligenciada, de qualquer estudo de simulação é a fase de modelar cada fonte dos dados de entrada, por meio de uma distribuição de probabilidade apropriada.

Para Ankenman e Nelson (2012), a "incerteza decorrente do input" refere-se ao impacto frequentemente não reconhecido, e raramente quantificados, do uso de distribuições de probabilidade nos dados de entrada pouco confiáveis em projetos de simulação que são simplificados de forma a "encaixar" a uma amostra finita de dados do mundo real.

Vale ressaltar ainda, que segundo Xie *et al.* (2014), quando se usa a simulação para estimar o desempenho de um sistema estocástico, a falta de fidelidade nos modelos aleatórios de entrada pode levar a estimativas de desempenho do sistema pouco confiáveis.

2.1.1.2. Implementação computacional

Com o passar dos anos, houve uma grande evolução das interfaces gráficas dos sistemas operacionais dos PCs, favorecendo os *softwares* de simulação a ficar bem mais fáceis de operar, devido à construção dos modelos ter se tornado mais gráfica e menos textual.

Um ponto importante em um estudo de simulação (porém não fundamental) é a escolha correta do *software* de simulação. Para Chwif e Medina (2006), não é fundamental pois o ponto mais importante é o *humanware*, ou o analista que está realizando o estudo.

Porém, não se pode negar que a seleção do *software* e do *hardware* influencia sobretudo o tempo total de um estudo de simulação. Uma possível fonte de informações sobre os *softwares* de simulação é a revista eletrônica *OR/MS Today* (2005), mantida pelo *Institute for Operations Research and the Management Sciences – InformS*.

Na verificação e validação de modelos Chwif e Medina (2006) destacam em seu trabalho a preocupação com a confusão gerada entre os termos validação e verificação, como mostra a Figura 2.2. O termo validação está relacionado ao modelo conceitual (existe outro tipo de validação denominada validação operacional, mas quando se retrata somente à validação, está se referindo à validação conceitual). Neste caso, o objetivo de validar o modelo é o mesmo de responder à seguinte pergunta: “será que está se desenvolvendo o modelo correto? ”, ou mesmo “será que as considerações feitas, o nível de detalhe, o escopo do modelo, representarão de forma adequada o sistema a ser simulado”?

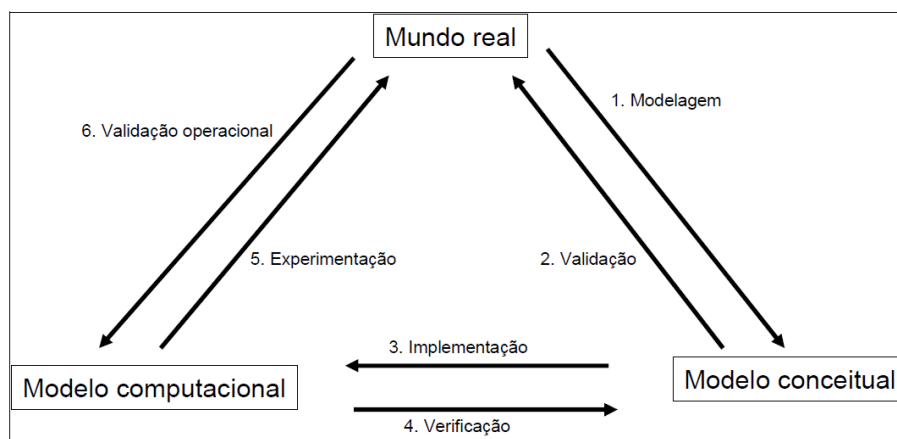


Figura 2.2 – A verificação e validação em um projeto de simulação.

Fonte: Chwif e Medina (2006)

Pode-se perceber, segundo a visão de Chwif e Medina (2006), a distinção do termo “validação” associado ao modelo conceitual. Para os mesmos autores, verificar, num sentido mais simplista, significa retirar os *bugs* do modelo. A validação está relacionada com o que será modelado e a verificação está relacionada com o modo como o modelo está sendo implementado. Na visão de Kleijnen (1995), a verificação objetiva um programa computacional perfeito, de tal forma que o código de programação utilizado não contenha erros. A validação, entretanto, não pode ser utilizada para resultar modelos perfeitos, pois pela definição modelos perfeitos, seriam os próprios sistemas reais. Um modelo deve ser bom o suficiente, o qual, depende dos objetivos do modelo.

De acordo com Chwif e Medina (2006), duas importantes regras da verificação e validação devem sempre ser levadas em consideração:

a) não há como validar um modelo 100% ou garantir que ele seja 100% válido. O que se consegue é aumentar a confiança no modelo ou mesmo acreditar que ele representa satisfatoriamente o sistema;

b) não há como garantir que um modelo seja totalmente livre de *bugs*. Ou seja, embora o modelo possa ser verificado para determinada circunstância, não há como garantir que, para quaisquer circunstâncias, funcione conforme o pretendido.

A literatura apresenta algumas técnicas de verificação de modelos, como:

a) implementação modular/verificação modular (CHWIF e MEDINA, 2006): a confecção do modelo em partes permite uma verificação focada em cada parte do modelo construída, o que facilita a identificação de erros no modelo e uma ação corretiva mais clara ao modelador. Esta técnica de verificação complementa a ideia, de que, o modelo não deve ser construído na sua forma final logo na primeira vez. Este deve ser incrementado na medida, em que, o modelador realiza a verificação da versão anterior;

b) uso de valores constantes ou simplificados *versus* cálculos nominais (CHWIF e MEDINA, 2006; KLEIJNEN, 1995): tomar os valores médios de cada distribuição e considerar estes valores como constantes e determinísticos. É claro que, os resultados estarão incorretos, mas, torna-se possível comparar os resultados do modelo com resultados de uma planilha de cálculo;

c) utilização do *debugger* ou depurador (CHWIF e MEDINA, 2006): a presença de um depurador em *softwares* de simulação favorece o uso desta técnica;

d) uso da animação gráfica (CHWIF e MEDINA, 2006; KLEIJNEN, 1995): considerada uma poderosa ferramenta de verificação, a animação permite ao modelador acompanhar o processo na tela do computador. Eventos como o abastecimento de postos de trabalho, formação de filas, trajeto de itens, movimentação de funcionários, paradas para manutenção, podem ser visualizados através da animação gráfica, permitindo ao modelador verificar a presença de possíveis falhas na programação. A animação permite não apenas a visualização de erros de programação, mas erros conceituais, o que também implica no processo de validação.

Segundo Kleijnen (1995), o analista pode avaliar alguns resultados intermediários da simulação manualmente e comparar estes resultados com os dados de saída da simulação. O processo de captura de todos os resultados intermediários do modelo computacional, de forma automática, é chamado de *tracing*. O autor também aponta como técnica de verificação a comparação dos dados de saída da simulação com resultados analíticos (quando possível). Esta ação é facilitada com o uso de valores constantes ou simplificados para as variáveis de entrada, confirmando o item b apresentado logo acima.

De acordo com Kleijnen (1998), casos onde o modelo é inválido, mas se aceita este modelo como um modelo válido, correspondem aos erros mais comuns em simulação. Este erro é também conhecido como risco do usuário do modelo. Ainda segundo o autor, a escolha do valor de α no teste de hipóteses é problemático. Os valores mais utilizados são 0,10 e 0,05. A escolha depende da análise das consequências financeiras, segundo o autor.

Algumas técnicas de validação podem ser apontadas:

a) teste de *Turing* ou validação *black-box* (CHWIF e MEDINA, 2006; KLEIJNEN, 1995; SARGENT, 2004): escolhe-se uma pessoa que entenda bem do sistema (especialista) que foi simulado e apresenta-se a ela dois conjuntos de dados de saída, um vindo do sistema real e outro do modelo de simulação. Caso o especialista não consiga distinguir se os resultados são oriundos do sistema real ou do modelo de simulação, então o modelo poderia, em certa extensão, ser considerado “válido”;

b) duplicação de modelos (CHWIF e MEDINA, 2006): prática eficiente, porém onerosa, pois supõe a existência de duas equipes independentes desenvolvendo modelos do mesmo sistema. Desta forma, se as duas equipes (operando de forma independente), desenvolverem modelos similares, este seria um bom indicador da validade do modelo;

c) comparação com modelos anteriores (CHWIF e MEDINA, 2006): desenvolvimento de um modelo a partir de outro já validado;

d) validação face-a-face (CHWIF e MEDINA, 2006; KLEIJNEN, 1995; SARGENT, 2004): discussão com especialistas, objetivando alcançar com estes especialistas o aval para o uso do modelo (aplicado tanto no modelo conceitual como no operacional). Nesta técnica de validação, Kleijnen (1995) defende a utilização da animação, como forma de apresentação do modelo aos especialistas;

e) comparação dos dados reais e simulados (CHWIF e MEDINA, 2006, KLEIJNEN, 1995; SARGENT, 2004): pode-se plotar os dados de saída do sistema real e do modelo simulado, em um eixo horizontal, representando o tempo, e um eixo vertical, representado o sistema real e o simulado. Através da observação, o analista pode perceber se os dados da simulação refletem o comportamento dos dados reais. O teste *t* é indicado pelos autores nesta técnica;

f) teste de condição extrema (SARGENT, 2004): analisar o comportamento do modelo quando os dados de entrada são colocados em condições extremas. Esta forma de validar é criticada por Kleijnen (1995), ao argumentar a dificuldade de se definir o que seria uma condição extrema;

g) uso de dados históricos (CHWIF e MEDINA, 2006; KLEIJNEN, 1995; SARGENT, 2004): pode-se utilizar dados históricos para calibrar o modelo. Desta forma, não se utilizaria um modelo probabilístico, mas sim dados históricos que representam o ocorrido durante o ano, por exemplo.

Consequentemente, as saídas do modelo devem ser compatíveis com o desempenho verificado no sistema. Os autores recomendam o uso do teste *t* emparelhado nesta técnica de validação.

Ainda discutindo a questão do uso de dados históricos, Kleijnen (1995) alerta que, em algumas situações, é impossível se obter dados relevantes. O autor cita o caso de estudos de simulação de uma guerra nuclear.

Sargent (2004) destaca, a preocupação com a validação desde a fase do modelamento conceitual. Segundo o autor, há dois tipos de suposições do modelo conceitual. São as suposições estruturais (a respeito das operações do sistema do mundo real) e as suposições de dados. As suposições estruturais podem ser validadas através de observações do

sistema do mundo real e através de discussões com o pessoal especializado no sistema. O autor destaca que, nenhuma pessoa conhece tudo sobre o sistema. Desta forma, várias pessoas precisam ser consultadas para a validação das suposições do modelo conceitual.

A validação através da comparação dos resultados fornecidos pelo modelo e dos resultados obtidos no sistema real deve ocorrer através de testes estatísticos. Uma das formas a serem citadas foi apresentada no livro dos autores (CHWIF e MEDINA, 2006), que foi proposta tendo como base o trabalho de Kleijnen (1995). A ideia consiste em tomar o intervalo de confiança para a diferença entre os dois conjuntos (dados do modelo e dados do sistema). Se o intervalo contiver o zero pode-se afirmar que, com um nível de confiança $[(1-\alpha).100\%]$, as respostas são equivalentes (do sistema real e do modelo de simulação). Neste caso, o intervalo de confiança pode ser construído como mostra a Equação (1).

$$\bar{x}_s - \bar{x}_r \pm t_{2n-2, \alpha/2} \sqrt{\frac{S_s^2 + S_r^2}{n}} \quad (1)$$

Sendo:

- X_s é a média do resultado obtido a partir da simulação do sistema;
- X_r é a média do resultado obtido a partir do sistema real;
- S_s é o desvio padrão do resultado obtido a partir da simulação do sistema;
- S_r é o desvio padrão do resultado obtido a partir do sistema real;
- n é o número de observações obtidas (deve ser igual tanto na simulação quanto nos resultados reais);
- $t_{2n-2, \alpha/2}$ é a distribuição t de Student para $2n-2$ graus de liberdade e um nível de significância de $\alpha/2$.

Segundo Leal *et al.* (2011), à medida que o número de experiências de simulação aumenta, a necessidade de validação e verificação desses modelos exige uma atenção especial por parte dos praticantes da simulação. Para tanto, deve-se ter consciência que a variação do ritmo do trabalho humano pode interferir no nível de confiabilidade da validação aplicada em um modelo de simulação a eventos discretos.

Olsen (2014) afirma que, a validação do modelo de simulação é uma tarefa difícil e necessita para tanto de uma avaliação rigorosa. Portanto, a quantificação da validação é uma ação necessária para responder à pergunta "qual o critério adequado para a validação?". Pode-se responder esta questão através do desenvolvimento de critérios de adequação para medir a validação realizada em um determinado modelo de simulação.

Ainda segundo Sargent (2014), a verificação e validação estão preocupadas em determinar se um modelo e seus resultados são "corretos", para um uso ou finalidade específica. A verificação do modelo é formalmente definida como "assegurar que o programa de computador do modelo computadorizado e sua implementação estão corretos e a validação do modelo é definida como a comprovação de que a modelo computadorizado, dentro de seu domínio de aplicabilidade, possui um leque satisfatório de precisão.

Gore e Diallo (2013) defendem, uma nova abordagem para a verificação e validação que aproveita duas técnicas da ciência da computação: a verificação do modelo e a depuração automatizada.

Para Wang (2013), a realização da verificação e validação para a modelagem e simulação requer uma aplicação sistemática e estruturada de diferentes técnicas de verificação e validação em todo o ciclo de vida da modelagem e simulação. Apesar de existir vários documentos de orientação descrevendo uma ampla variedade de técnicas de verificação e validação, seu potencial de aplicação e experiências sobre a seleção eficaz dessas técnicas para um determinado contexto de modelagem e simulação ainda são escassos.

2.1.1.3. Análise

Nesta última etapa do projeto de simulação a eventos discretos o modelo computacional validado, chamado agora de modelo operacional, estará preparado para receber diversos experimentos.

No trabalho proposto por Montevechi *et al.* (2010), esta etapa é realizada por meio de um projeto de experimentos, que são testes conduzidos de forma planejada, no qual os fatores são alterados de modo a avaliar-se seu impacto sobre uma dada resposta.

O experimento poderá ser definido como um teste, no qual, mudanças propostas são aplicadas em variáveis de entrada de um processo, para assim, observar e identificar mudanças ocorridas em variáveis de saída.

Tendo terminado as etapas de verificação e validação, o modelo de simulação torna-se operacional, vindo a ser uma fonte poderosa de experimentos estatísticos utilizados no processo de análise do comportamento do sistema. Desta forma, realizam-se diferentes experimentos de simulação com o modelo criado, experimentos estes gerados a partir de questões "o que ocorre se..." (CHWIF e MEDINA, 2006).

Os mesmos autores ainda alertam que, como as entradas da simulação são processos aleatórios, as saídas também serão aleatórias, não sendo assim indicado tirar conclusões com uma única réplica da simulação. Ao se definir cada cenário, o profissional da área de simulação deverá ter em mente quais variáveis de entrada deverão ser modificadas e ainda quais variáveis de saída serão analisadas.

Ainda, de acordo com Chwif e Medina (2006), o processo de análise de resultados é geralmente menos dispendioso do que os processos de modelagem, construção do modelo computacional, verificação e validação, uma vez que, é o modelo quem trabalha para gerar resultados.

2.2. Teoria do desempenho relacionada ao ritmo circadiano

Para Baines *et al.* (2005), a confiança dos resultados de um modelo de simulação depende de muitos fatores, tais como a competência do usuário e a complexidade do sistema real que está sendo modelado. Supõe-se que os operadores dentro das fábricas são altamente previsíveis e padronizados em seu comportamento. Sendo assim, assume-se que os operadores sempre iniciam o trabalho na hora prevista, operam a uma taxa constante durante o dia, fazem as paradas conforme o planejado, etc.

Para Baines *et al.* (2004), o conceito de “recurso” é limitado na sua aplicação para a modelagem do comportamento e desempenho humano. Este problema é especialmente agudo quando a modelagem é realizada em um sistema com uma elevada proporção de trabalho manual, tal como em uma linha de montagem.

De acordo com Baines *et al.* (2004), são desconhecidos os comportamentos e necessidades sociais, psicológicas e fisiológicas dos operadores. Para esses autores, a inclusão dos modelos de desempenho humano na simulação fornece uma oportunidade para que os projetistas dos sistemas conheçam a importância e o impacto que os fatores humanos têm sobre seus projetos. A simulação nem sempre consegue captar com fidelidade sistemas que possuam muitas atividades manuais, apresentando resultados pouco confiáveis, quando comparado aos resultados reais.

Conforme Baines *et al.* (2005), os projetistas dos sistemas de manufatura têm um conhecimento escasso sobre os fatores que influenciam o desempenho dos trabalhadores, prejudicando assim, os resultados de seus projetos. Para estes autores, é preciso representar as pessoas de forma realista, considerando seu comportamento e desempenho, a fim de melhorar a exatidão da simulação. Segundo os mesmos autores, uma melhoria desejável na simulação seria uma representação mais realista das variações no desempenho humano e dos fatores humanos que influenciam estas variações.

Baines e Kay (2002) mostram como a capacidade de modelagem pode ser melhorada através da integração de uma ferramenta de modelagem do desempenho humano com a simulação computacional, para apoiar os projetos dos sistemas de manufatura.

Segundo Siebers (2006), a grande maioria dos softwares de simulação representa em grande número de detalhes o comportamento de máquinas, mas considera os trabalhadores como simples recursos, considerando valores de desempenho determinísticos para suas atividades, resultantes de estudos de tempos e métodos.

Conforme Siebers (2004), uma forma comum de representar o desempenho dos operadores nos modelos de simulação que representam sistemas de manufatura é utilizar o tempo padrão. Este é o tempo requerido por um operador qualificado médio, trabalhando em um lugar normal, para desenvolver uma tarefa específica utilizando um método específico, considerando o tempo para as necessidades pessoais, fadiga e atraso. Para esse autor, usar valores médios e ignorar a variação natural no tempo de

processamento dessas tarefas representa uma significativa simplificação que impacta fortemente no comportamento dos modelos de simulação e conseqüentemente na precisão das previsões de desempenho desses modelos.

É importante aplicar a integração dos fatores humanos em projetos de simulação devido a dois principais benefícios. Primeiro, possibilita a criação de modelos de simulação mais precisos, o que permite que decisões de investimentos sejam tomadas com maior confiança. Segundo, por permitir uma maior consideração dos fatores humanos no início do projeto dos sistemas de manufatura, isto faz com que, os projetistas criem ambientes de trabalho mais favoráveis, aumentando o desempenho da força de trabalho (BAINES *et al.* 2005).

Para Siebers (2006), a literatura indica claramente que o desempenho do trabalhador varia ao longo da execução das tarefas, podendo ocorrer entre trabalhadores diferentes realizando a mesma tarefa e, além disso, quando o mesmo trabalhador repete uma tarefa. Além disso, tem sido mostrado na literatura que o desempenho dos trabalhadores também varia em consequência da sua dependência sobre os eventos passados e do estado atual do sistema. A abordagem atual de representar o trabalhador dentro da simulação a eventos discretos ignora o grande potencial que a Variação no Desempenho Humano (*Human Performance Variation - HPV*) pode ter no desempenho do sistema de manufatura (SIEBERS, 2006).

2.2.1. Identificação dos fatores humanos

Para Digiesi *et al.* (2009), o comportamento de um operador pode ser afetado por vários fatores tais como o ambiente de trabalho (físico: micro-clima, ergonomia, ruído; social: relações humanas, comunicação entre o grupo), a natureza da tarefa (discreta ou contínua, repetitiva ou não-repetitiva, motora ou cognitiva e fatores pessoais (atitudes psicofísicas, habilidade pessoal, idade, sexo). Segundo esses autores, estes fatores podem influenciar profundamente o comportamento de um operador, o que pode resultar em uma variabilidade de desempenho durante o turno de trabalho. Essa variabilidade nos tempos de conclusão de tarefas pode ser observada se a tarefa é completada pelo mesmo operador em diversos contextos de produção, bem como se a tarefa é executada no mesmo ambiente de trabalho (ambiente físico e social) e no mesmo local de trabalho.

Segundo Vilela *et al.* (2014), se o profissional da área de simulação quiser desenvolver um modelo computacional, o mesmo deverá ter consciência que o rendimento do operador varia significativamente no decorrer do dia.

Para Brailsford (2014), qualquer tipo de indústria de serviços envolverá "participantes" humanos, cujo comportamento pode afetar o desempenho do sistema. Mesmo indústria de transformação, onde muitos sistemas são automatizados, ainda envolve o ser humano em algum ponto.

Para Son *et al.* (2013), o entendimento e modelagem do comportamento dos fatores humanos em um ambiente complexo e incerto são atividades extremamente desafiadoras. Para enfrentar tal desafio, os pesquisadores de diversas áreas têm vindo a colocar esforços significativos.

Segundo Baines *et al.* (2005), melhorar a simulação não é simplesmente um desafio para a tecnologia da informação e da comunidade de programação computacional. O desafio consiste em compreender exatamente onde a variação no desempenho humano deve ser considerada em um modelo de simulação do sistema de manufatura, para que seja possível analisar a natureza dessa variação e identificar os fatores que afetam e intensificam esta variação.

Ainda segundo Baines *et al.* (2005), atualmente existe uma variedade de quadros teóricos e, embora nenhum deles seja adaptado para o desafio de modelagem do desempenho humano, eles oferecem uma visão geral valiosa das teorias.

A pesquisa desenvolvida por Baines *et al.* (2005), teve como objetivo elaborar um quadro teórico que permitisse uma modelagem do desempenho humano dentro do projeto de um sistema de manufatura. Num primeiro estágio, o escopo da pesquisa foi limitado aos operadores diretos, pessoas que executam as tarefas manuais dentro da produção, consideradas críticas para o desempenho geral da linha. Para atingir o objetivo, duas questões foram respondidas:

- Quais são as atividades adequadas aos operadores diretos e as respectivas medidas de desempenho que o quadro teórico deveria basear-se?
- Quais os fatores mais prováveis de influenciar essas medidas de desempenho?

Assim, a primeira etapa da pesquisa desenvolvida por Baines *et al.* (2005), foi determinar quais as medidas de desempenho relacionadas aos operadores diretos, em outras palavras, onde dentro de um modelo de simulação de um sistema de manufatura deve ser considerada uma distribuição do desempenho humano?

Segundo Baines *et al.* (2005), quando a precisão do modelo é crítica, é necessária uma previsão mais realista do desempenho humano. Diante disso, os autores sugerem que as seguintes considerações sobre o desempenho humano devem ser analisadas:

- Distribuição de confiabilidade: Dadas todas as condições para o operador iniciar a tarefa, quais atrasos ocorrem antes do operador responder as instruções para iniciar o trabalho?
- Distribuição do tempo da atividade: Depois de um operador iniciar a tarefa, como o tempo da atividade varia?
- Distribuição da taxa de erro: Como um operador pode executar uma atividade com exatidão e confiabilidade? Os erros são quaisquer desvios da especificação do produto, que podem resultar em produtos inservíveis, ou produtos que requerem processamento adicional para se tornarem servíveis (retrabalho).
- Taxa de Absenteísmo: Com qual frequência um operador participa do trabalho ao longo de um período?
- Taxa de Acidentes: Com qual nível de segurança um operador executa sua atividade?
- Taxa de rotatividade: Com qual constância o operador está envolvido?

A partir daí, observaram-se seis importantes variações no desempenho humano, que deveriam ser consideradas em um modelo de um sistema de manufatura.

2.2.2. Características do fator humano

Segundo Reilly, Atkinson e Waterhouse (2000), os ritmos biológicos se referem às mudanças cíclicas que se repetem regularmente em um determinado tempo e estão relacionadas às alterações dos processos fisiológicos. Os ritmos podem ser denominados de circadiano, ou seja, referentes ao dia solar (24 +/- 4 horas), ultradiano (ciclos com menos de 24 horas) ou infradiano (ciclos com mais de 28 horas). A principal função do ritmo circadiano é preparar o corpo humano para o sono através da regulação hormonal de suas funções básicas. Até certa hora da noite, tipicamente entre as 22h30min às 01h00min, o corpo naturalmente adormece. Isso é usualmente acompanhado por uma redução na temperatura central e por um aumento na melatonina (o hormônio do sono) (BAINES *et al.*, 2004). Segundo Baines *et al.* (2004), o modelo de desempenho relacionado ao ritmo circadiano considera um fator de nível baixo. O modelo apresentado nesse tópico, foi desenvolvido por Spencer (1987), que estudou 30 estudantes em um período de nove dias. No trabalho de Baines *et al.* (2004), esse modelo foi utilizado para representar as mudanças ocorridas no desempenho do operador devido aos efeitos do ritmo circadiano. Foram incluídas a “hora do dia” e a “hora que a pessoa acorda” para prever o desempenho dos operadores que começam suas atividades em horários diferentes do dia. O desempenho da tarefa utilizada no estudo, a substituição do símbolo digital da tarefa (DSST) é previsto para a “hora do dia”, T , e a “hora que a pessoa acorda”, t , pela Equação (2) O resultado para um operador que acorda 3 horas antes de começar cada turno de trabalho é apresentado na Figura 2.3. A Equação (2) representa a variação no tempo da atividade para um operador que esteja executando qualquer tarefa:

$$DSST (T, t) = 233,3 + 1,54 t - 0,304 t^2 + 0,0108 t^3 + 4,97 \cos\left(2\pi \frac{(T - 17,05)}{24}\right) \quad (2)$$

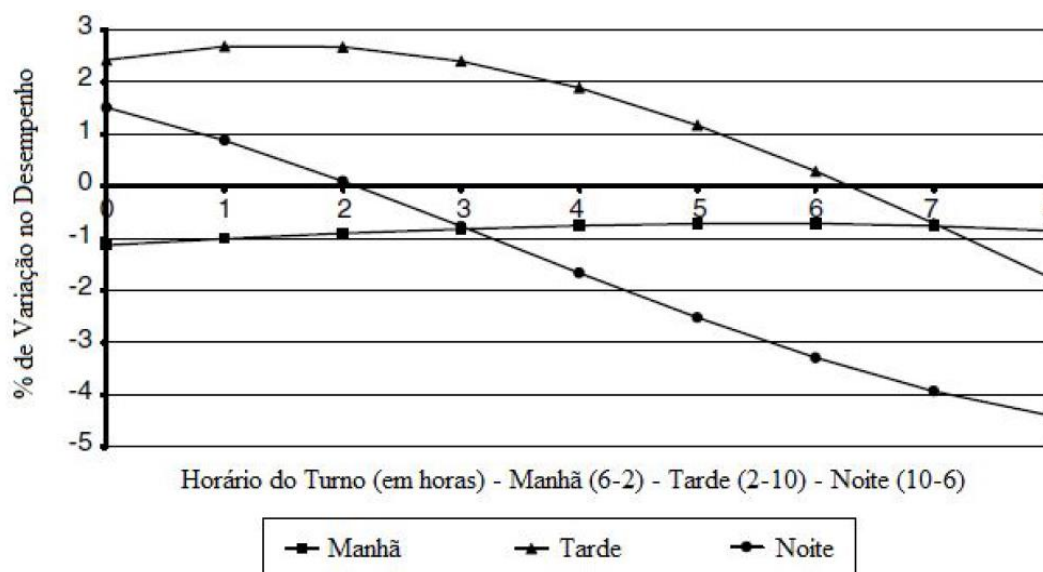


Figura 2.3 – Modelo de desempenho humano relacionado ao ritmo circadiano
Fonte: Baines *et al.* (2004)

2.2.3. Teoria do desempenho humano relacionado à aprendizagem e fadiga

Segundo Digiesi *et al.* (2009), para desenvolver um modelo de simulação que considere a influência de fatores humanos no desempenho do operador, dois problemas devem ser solucionados. Em primeiro lugar, o comportamento do operador deve ser quantificado em processos industriais para garantir que eles são válidos. Em segundo lugar, uma vez que um modelo válido é obtido, ele deve ser incluído nas ferramentas de simulação disponíveis. No entanto, quantificar o comportamento do operador em um contexto industrial é um processo que consome tempo e dados. A caracterização do comportamento do operador requer a coleta de uma grande quantidade de dados.

Wright (1936) foi o primeiro a desenvolver modelos teóricos e empíricos relacionados à variabilidade do comportamento do operador ao longo do tempo. Assim, o trabalho de Wright (1936) investigou a influência do fenômeno da aprendizagem sobre o comportamento dos operadores envolvidos em tarefas manuais e repetitivas. O modelo desenvolvido por Wright (1936) relacionou a duração prevista da tarefa para a repetição “n-th”, “Y(n)”, com o número “n” de tarefas concluídas, o desempenho esperado na primeira repetição “y(1)”, e o fator de aprendizagem “b”, como mostra a Equação (3).

$$Y(n) = y(1).n^{-b} \quad (3)$$

Segundo Digiesi *et al.* (2009), a partir da obra de Wright, muitos modelos foram propostos na literatura. Todos os modelos relacionam o tempo de conclusão da tarefa com o número de tarefas previamente completadas, e diferem de acordo com o fator humano que é considerado (por exemplo, a aprendizagem, fadiga, esquecimento).

Mummolo *et al.* (2004) apresentaram um modelo que considera o efeito conjunto da aprendizagem e da fadiga. O modelo é apresentado na Equação (4). Sendo “n” o número de repetições, a duração da tarefa prevista na “n-th” repetição é dada por:

$$y(n) = y(1) + \left[(M - y(1)).(1 - n^{-\tau}) \right] - \left[(y(1) - m).(1 - n^{-\lambda}) \right] \quad (4)$$

Onde:

y (1): é a duração prevista da tarefa (desempenho) para a primeira repetição;

M: é o limite de pior desempenho esperado devido à fadiga depois de um grande número de repetições;

m: é uma estimativa do desempenho incompreensível do operador;

λ : é o fator de aprendizagem ($0 < \lambda < 1$);

τ : é o fator de fadiga ($0 < \tau < 1$).

Vale ressaltar que, na Equação 4 o termo $y(1)$ é uma medida estática do desempenho do operador, uma vez que, o desempenho inicial do operador está relacionado com sua habilidade e experiência.

2.3. Considerações Finais

Com base no levantamento teórico apresentado neste capítulo, observou-se que devido à complexidade dos sistemas reais, a simulação computacional consegue capturar as características dinâmicas e aleatórias desses sistemas. Porém, observa-se que existe uma folga entre o desempenho previsto pelos modelos de simulação e as saídas que tais sistemas geram no sistema real.

Com o intuito de diminuir esse erro de previsão, e tornar os modelos mais próximos do desempenho do sistema real, inicialmente foi identificada nesse capítulo uma série de fatores que podem influenciar o comportamento do operador ao longo do turno de trabalho.

Embora atualmente exista uma variedade de teorias relacionadas aos fatores que podem influenciar o desempenho humano, existe uma lacuna no que se refere à modelagem e simulação do desempenho humano, ou seja, nesse capítulo foram identificados alguns modelos de desempenho humano existentes, como por exemplo, modelos referentes ao ritmo circadiano e a aprendizagem e fadiga.

Vale ressaltar que, o presente trabalho não tem o objetivo de aplicar nenhum modelo para representar o fator humano. Fez-se uma abordagem sobre a modelagem dos dados de entrada de acordo com uma sistemática que divide os dados cronometrados em quatro grupos, que tem como correspondência alguns horários pré-definidos, de tal forma a diminuir a perda de informações sobre o ritmo do trabalho humano.

Para o contexto da dissertação, optou-se por explorar a influência do ritmo do trabalho humano dos operadores em uma linha de montagem de placas eletrônicas. Sendo que, a intenção da pesquisa foi verificar como diferentes distribuições de probabilidade estatística, que foram obtidas por meio de uma amostragem abrangente de tempos de processamento durante o dia e a semana poderiam influenciar os resultados de uma validação computacional, usando como parâmetro a Equação (1) e apresentar gráficos que mostrem a variação do trabalho humano durante o dia e semana para contexto específico do objeto de estudo utilizado nessa pesquisa.

3. Método de pesquisa

3.1. Considerações iniciais

Este capítulo visa descrever o método de pesquisa aplicado neste trabalho. Na Seção 3.2 está descrito o tipo de pesquisa e nas demais seções descreve-se o passo a passo para a elaboração de um projeto de simulação a eventos discretos. Este capítulo inicialmente apresenta a classificação da pesquisa quanto à natureza, objetivos, procedimentos e local de aplicação. Em seguida, é descrita a classificação da pesquisa quanto ao método quantitativo. Nesta fase são apresentadas duas metodologias que definem o conjunto de etapas necessárias que devem ser seguidas para responder às questões de pesquisa apresentadas no capítulo anterior.

3.2. Classificação da pesquisa

Jung (2004) e Marconi e Lakatos (2003) afirmam que, quanto ao tipo de pesquisa, esta pode ser classificada quanto à sua natureza (básica ou fundamental, aplicada ou tecnológica); quanto aos seus objetivos (exploratória, descritiva ou explicativa); quanto aos procedimentos (experimental, operacional, estudo de caso) e quanto ao local de realização da mesma (laboratório ou campo). A Figura 3.1 ilustra essa classificação cujas áreas em destaque indicam a classificação da presente pesquisa.

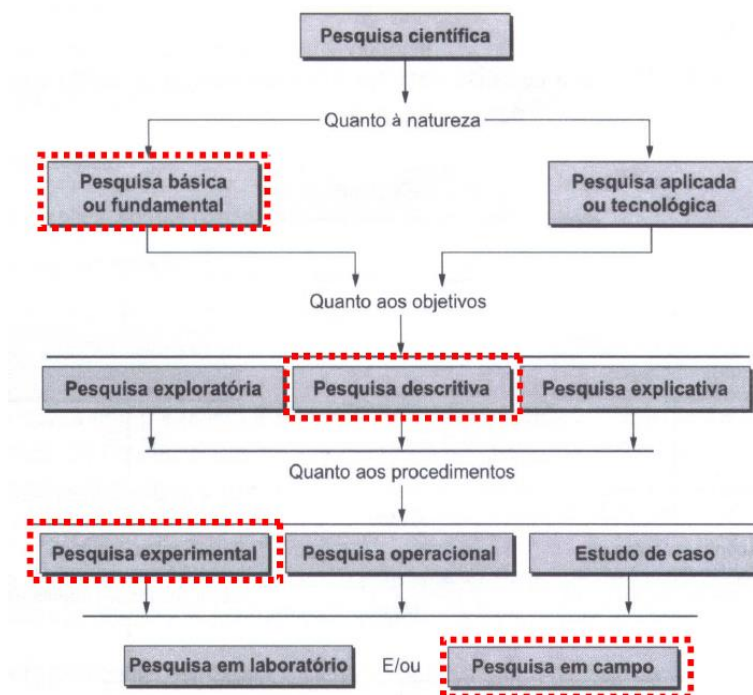


Figura 3.1 – Tipos de pesquisas científicas

Fonte: Adaptado de Jung (2004)

Na visão de Jung (2004) e Marconi e Lakatos (2003), quanto à natureza, a pesquisa básica ou fundamental objetiva entender ou descobrir novos fenômenos, com foco em conhecimentos básicos e fundamentais. Enquanto a pesquisa aplicada ou tecnológica

objetiva a aplicação dos conhecimentos básicos na geração de novos produtos, processos, patentes e serviços.

Quanto aos objetivos, a pesquisa exploratória visa à descoberta de teorias e práticas que modificarão as existentes – inovações tecnológicas; a pesquisa descritiva tem a finalidade de observar, registrar e analisar os fenômenos ou sistemas técnicos – identificação, registro e análise de características, fatores e ou variáveis; a pesquisa explicativa objetiva ampliar generalizações, definir leis mais amplas, modelos teóricos – síntese, teorização e reflexão.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa experimental busca a descoberta de novos materiais, métodos, técnicas, protótipos de *software* - ensaios e estudos de laboratório, modelagem, simulação, sistemas e circuitos; a pesquisa operacional trata da busca do ótimo, uso de ferramentas estatísticas, métodos matemáticos da otimização, busca do melhor resultado – condição ótima; o estudo de caso permite investigar um fenômeno dentro de um contexto local e real – estudar o fenômeno, dar limites, definir claramente e entender como e por que as coisas funcionam.

A pesquisa em laboratório ou de campo é fundamentalmente a última etapa de todo o processo metodológico. Entende-se como pesquisa em laboratório aquela, na qual, ocorre a possibilidade de se controlar as variáveis que possam intervir no experimento. Já a pesquisa em campo é onde não há a possibilidade de controle das variáveis.

Quanto ao modo de aquisição de referências podem-se utilizar os procedimentos de pesquisa bibliográfica e documental. O estudo bibliográfico visa conhecer e entender a base conceitual e as diversas contribuições científicas a respeito do assunto. Portanto, é fundamental o levantamento da base teórica sobre o assunto (conceitual) e de publicações relacionadas (estado da arte – últimas publicações).

Já o estudo e referencial documental baseiam-se em documentos primários, fonte de informação que ainda não receberam organização ou tratamento analítico de publicação, como tabelas, relatórios, arquivos públicos, manuais originais e correspondências de caráter inédito.

Quanto ao tempo de aplicação do estudo, com base em Jung (2004), cabe comentar que estudo transversal é aquele que se realiza em determinado instante de tempo (t) – naquele exato corte temporal. Estudo longitudinal é aquele no qual os dados são coletados ao longo do tempo, com obtenção sistemática e lenta de resultados. A presente pesquisa contemplou o estudo longitudinal, uma vez que, foi realizada com a obtenção de todos os dados em 9 meses. De acordo com a classificação apresentada pelos autores Jung (2004) e Marconi e Lakatos (2003), tem-se que, a presente pesquisa é de natureza básica, com objetivos de caráter descritivo, utilizando procedimentos de estudo experimentais, através de uma pesquisa de campo, fundamentada em referências bibliográficas.

3.3. Método de pesquisa quantitativo: modelagem e simulação

Segundo Bertrand e Fransoo (2002), pesquisa quantitativa baseada em modelos é a pesquisa, no qual, são desenvolvidos, analisados e testados modelos de relações causais entre variáveis de controle e variáveis de desempenho. Este tipo de pesquisa parte do princípio que pode-se construir modelos objetivos que expliquem parte do

comportamento dos processos reais, ou que podem capturar parte dos problemas de tomada de decisão enfrentados pelos gestores na vida real. Os diferentes tipos de pesquisa quantitativa, segundo Bertrand e Fransoo (2002) são apresentados na Figura 3.2.

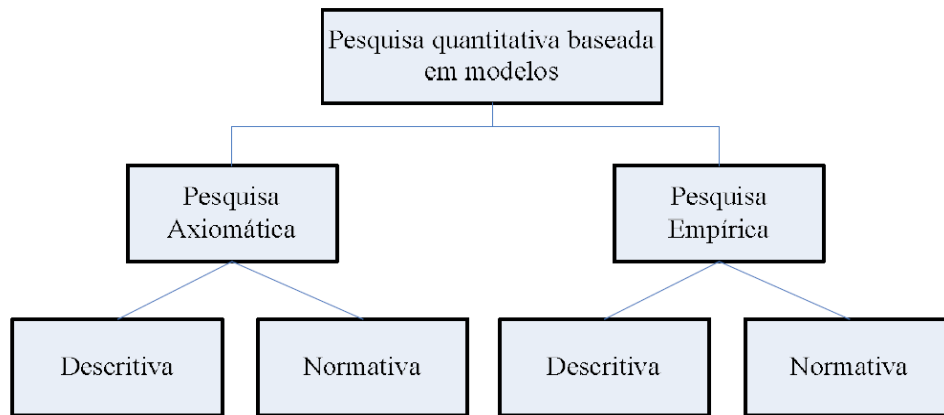


Figura 3.2 – Classificação da pesquisa quantitativa
Fonte: Bertrand e Fransoo (2002)

Bertrand e Fransoo (2002), classificam a pesquisa quantitativa em pesquisa axiomática e pesquisa empírica. As pesquisas axiomáticas e empíricas podem ser subdivididas em descritiva e normativa. Normalmente a pesquisa descritiva relaciona-se com o estudo de um processo e a pesquisa normativa está ligada ao estudo de um problema. A pesquisa axiomática é definida pelas seguintes características:

- é guiada pelo modelo idealizado (assume-se que alguns aspectos do problema não afetam a solução);
- produz conhecimento sobre o comportamento de certas variáveis do modelo com base em suposições sobre o comportamento de outras variáveis dentro do modelo;
- o objetivo primário é obter soluções que forneçam conhecimento acerca da estrutura do problema;
- são utilizados métodos formais de áreas científicas como matemática, estatística e ciências da computação;
- os pesquisadores olham para os processos ou problemas através dos modelos matemáticos que possam ser utilizados;
- necessita-se de um forte fundo matemático;
- devem-se julgar quais formulações de problemas científicos são bons problemas, ou seja, problemas onde podem ser obtidos resultados de qualidade.

Os passos para realizar uma pesquisa axiomática são os seguintes:

- descrever as características dos processos ou problemas a serem estudados. A descrição do modelo conceitual deve usar tanto quanto possível os conceitos e termos aceitos como padrão na literatura;

- especificar o modelo científico do processo ou problema. Este deve ser apresentado de maneira formal, em termos matemáticos.

Na pesquisa axiomática descritiva, a modelagem do processo é o centro. Busca-se analisar um modelo para explicar suas características. O pesquisador parte de um modelo conceitual e deriva um modelo científico. Depois são feitas algumas análises do modelo científico para ganhar conhecimento sobre o comportamento deste. Tipicamente não se passa à fase de solução do modelo e a qualidade da pesquisa está ligada à extensão na qual os resultados provam dar as características exatas do processo.

A extensão para a solução do modelo é feita na pesquisa axiomática normativa, onde a solução é a pesquisa central reportada. Em muitos artigos axiomáticos normativos, o processo de modelagem também está incluído e os resultados retornam ao modelo conceitual, que equivale ao que Mitroff *et al.* (1974), chama de *feedback* limitado. Nesse caso a qualidade da pesquisa pertence à extensão no qual o resultado prova ser a melhor solução possível para o problema. Quase todos os artigos no domínio da Pesquisa Operacional caem na área normativa.

A pesquisa empírica possui as seguintes características:

- o objetivo principal é assegurar que há um ajustamento das observações e ações na realidade e o modelo feito daquela realidade;
- este tipo de pesquisa é dirigido por resultados e medidas empíricos;
- deve ser planejada para testar a validade de modelos teóricos quantitativos e suas soluções;
- a essência é validar o modelo conceitual ou a solução da pesquisa axiomática;
- como os processos operacionais são todos diferentes, premissas básicas e características dos problemas são validadas para classes definidas de processos, implícitas nos modelos teóricos e problemas;
- ao contrário da pesquisa axiomática quantitativa, a pesquisa empírica não tem sido muito produtiva.

Os passos para aplicação de uma pesquisa empírica são os seguintes:

- identificar as premissas básicas dos processos, na qual, estão baseados os modelos ou problemas teóricos em questão. Na literatura existem diferentes linhas de pesquisa que compartilham premissas comuns sobre processos ou problemas de decisão. Existe, por exemplo, uma linha de pesquisa baseada na visão do processo produtivo como um modelo de filas. Essa é chamada de premissa básica;
- identificar o tipo de processo ou problema no qual as premissas básicas se apliquem;
- desenvolver um critério objetivo para decidir se um processo da vida real pertence à classe de processos considerada e para identificar o sistema de decisão que representa o

problema em questão. Diferentes pesquisadores devem chegar ao mesmo resultado acerca destas classificações;

- derivar das premissas básicas, hipóteses sobre o comportamento dos processos. Esse comportamento se refere a variáveis ou fenômenos que possam ser medidos;

- desenvolver uma maneira objetiva de medir ou fazer observações. Como não existe uma maneira geralmente aceita de medir as variáveis, os pesquisadores devem desenvolver maneiras próprias de medir e documentar essa etapa. Essa dificuldade ilustra a posição fraca da pesquisa quantitativa empírica na administração científica;

- aplicar os sistemas de medição, coletar e documentar os resultados;

- interpretar os dados, o que geralmente irá incluir o uso de análise estatística. Técnicas especiais são necessárias, pois os resultados não podem ser manipulados de maneira arbitrária como num projeto experimental. As hipóteses devem ser restritas ao comportamento dentro de um período esperado;

- interpretar os resultados em relação aos modelos teóricos ou problemas que deram origem às hipóteses testadas. Esse passo completa a fase de validação e pode resultar na confirmação do modelo teórico (ou partes) em relação ao problema de decisão e ao processo considerado, ou levar a rejeição (parcial ou não) e sugestões para melhorar os modelos teóricos.

A pesquisa empírica descritiva é principalmente voltada a criar um modelo que descreva adequadamente as relações causais que possam existir na realidade e levem ao entendimento do processo corrente. Nesse caso, a figura 3.3 mostra o ciclo da conceitualização, modelagem e validação do diagrama de Mitroff *et al.* (1974).

A pesquisa empírica normativa busca desenvolver políticas, estratégias e ações que melhorem a situação atual. Essa área de pesquisa é pequena. Houve tentativa em alguns artigos, mas o procedimento de verificação normalmente não é muito forte. Essa é a forma mais completa de pesquisa científica, no qual, é conduzido o ciclo completo: conceitualização, modelagem, solução do modelo e implementação. Em muitos casos, essa pesquisa é construída em trabalhos publicados na categoria axiomática descritiva, na qual, já foram desenvolvidos caminhos para os estágios de modelagem e solução do modelo.

Não se deve confundir pesquisa empírica com uso dos resultados da pesquisa axiomática para melhorar os processos. Nesse caso, os resultados se baseiam na crença que as premissas admitidas nos modelos são válidas e as soluções irão funcionar bem. Essas premissas são raramente testadas durante o projeto.

Uma importante contribuição para o estudo de métodos de pesquisa em simulação foi o trabalho apresentado por Mitroff *et al.* (1974). Nesse trabalho foi apresentado um método para o estudo da ciência como um sistema, baseado no processo de solução de problemas.

O método, que é apresentado na forma de um diagrama, está ilustrado na Figura 3.3.

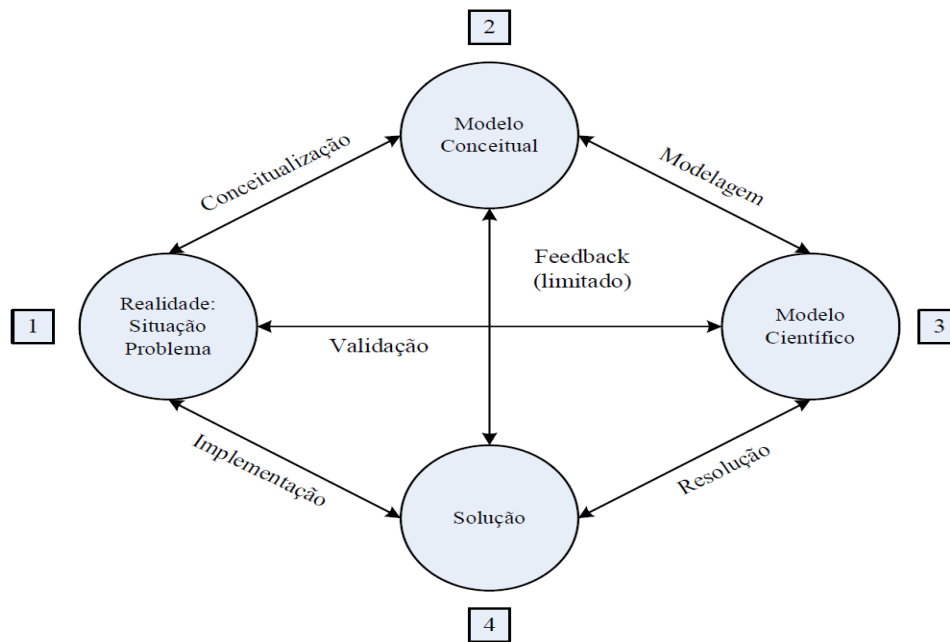


Figura 3.3 - Modelo de pesquisa para simulação
 Fonte: Adaptada de Mitroff *et al.* (1974).

O modelo apresentado na Figura 3.3 permite representar diversas maneiras de fazer ciência por meio da simulação. O processo científico pode começar e terminar em qualquer ponto do modelo e ter qualquer número de iterações entre as atividades. Da mesma forma, a pesquisa também pode terminar em diferentes pontos. Cada elemento e caminho requerem diferentes habilidades.

Neste modelo, a abordagem operacional de pesquisa consiste nas de conceitualização, modelagem, resolução e implementação.

Na fase de conceitualização, o pesquisador desenvolve o modelo conceitual do problema e do sistema sob estudo, define quais as variáveis que necessitam ser incluídas no modelo e também toma decisões sobre o escopo do modelo. O modelo científico que deriva do modelo conceitual requer habilidades analíticas e formais, e normalmente está mais ligado à comunidade científica. A validação consiste no grau de correspondência entre a realidade e o modelo. A solução que deriva do modelo científico não é necessariamente o fim do problema de pesquisa. Na fase de modelagem, o pesquisador desenvolve o modelo quantitativo, definindo as relações causais entre as variáveis. Na fase de solução pelo modelo, em geral, a matemática desempenha um papel determinante. A fase de implementação do modelo consiste em derivar ações a partir da solução.

Requer a habilidade de trazer uma mudança social significativa, e está normalmente relacionada aos gestores. Os resultados do modelo são implementados e um novo ciclo pode reiniciar.

Mitroff *et al.* (1974) argumentam que, um ciclo da pesquisa pode possivelmente começar e terminar em qualquer uma das fases do ciclo, desde que, o pesquisador tenha conhecimento das partes específicas da solução do processo que ele está dirigindo e, conseqüentemente, das reivindicações que ele pode fazer com base nos resultados de sua pesquisa.

Nenhum aspecto individual do modelo é mais importante que outro, e os componentes dos sistemas não podem ser separados. Não se deve perceber qualquer componente como mais crítico e é errado alocar todo o esforço da pesquisa para estudar somente uma fase do sistema.

Na pesquisa axiomática descritiva, o processo de modelagem é o centro. O pesquisador tem um modelo conceitual, principalmente a partir da literatura e desenvolve um modelo científico para este. Além disso, o pesquisador faz algumas análises sobre o modelo científico para ganhar introspecção sobre o comportamento deste modelo. A extensão é feita na pesquisa axiomática normativa, no qual, o processo de solução do modelo é o central da pesquisa.

Na pesquisa empírica descritiva, o pesquisador tipicamente segue um ciclo de conceitualização, validação e modelagem. É interessante notar que, o principal risco que Mitroff *et al.* (1974) comunicam é, a preocupação exagerada com a validação, ou seja, o pesquisador deseja fazer um ajuste perfeito entre o modelo e a realidade.

Finalmente, a forma mais completa de pesquisa é a pesquisa empírica normativa, no qual, o ciclo de conceitualização, modelagem, solução do modelo e implementação é seguido.

De acordo com a classificação de Bertrand e Fransoo (2002), o método utilizado nessa pesquisa é a modelagem quantitativa empírica normativa. Justifica-se neste trabalho a pesquisa empírica pela necessidade de coleta de dados reais de um objeto de pesquisa, no qual, o modelo conceitual deste objeto é confrontado com a realidade e o modelo computacional pretende representar o comportamento de uma situação real específica e faz referência a este objeto empírico específico.

Segundo Montevechi *et al* (2010), as etapas de um projeto de simulação apresentam as seguintes fases sendo que a figura 3.4 apresenta um trecho.

- concepção: nessa etapa será aplicado uma abordagem de coleta de tempos que, compreende a separação dos tempos cronometrados em períodos pré-determinados que serão associados a quatro cenários:

No cenário 1 foi considerada uma distribuição de probabilidade por dia da semana, para cada uma das dez etapas consideradas, para representar os tempos do dia inteiro de produção. Foram consideradas 60 tomadas diárias de tempo para compor a distribuição de cada etapa de montagem.

No cenário 2 utilizou-se duas distribuições de probabilidade por dia da semana para cada uma das dez etapas consideradas. Estas duas distribuições representaram os períodos da manhã e tarde, ou seja, 30 tomadas de tempo na parte da manhã e 30 tomadas de tempo na parte da tarde.

No cenário 3, utilizou-se 15 tomadas de tempo para cada um dos quatro períodos:

1- 07:00 às 09:00;

2- 09:00 às 11:00;

3-13:00 às 15:00;

4-15:00 às 17:00.

Foram geradas quatro distribuições de probabilidade por dia da semana para cada uma das dez etapas consideradas para representar os quatro períodos do dia.

Por fim, no cenário 4, usou-se 30 tomadas de tempos selecionadas de forma aleatória, no qual, foi gerado uma distribuição de probabilidade para representar a semana inteira de produção por etapa. Essas distribuições estatísticas foram identificadas por meio da ferramenta *StatFit*, que usou dados cronometrados da jornada de trabalho na qual a linha de montagem estava submetida.

-implementação: nessa etapa de implementação os dados serão lançados no modelo, em quatro possíveis cenários diferentes, a fim de se averiguar o nível de confiabilidade da validação computacional.

-análise (não aplicada nesta pesquisa). Já a etapa de análise, no qual, os experimentos são realizados, a presente pesquisa não entrou em detalhes, pois não é necessária para o objetivo geral definido nesta pesquisa.

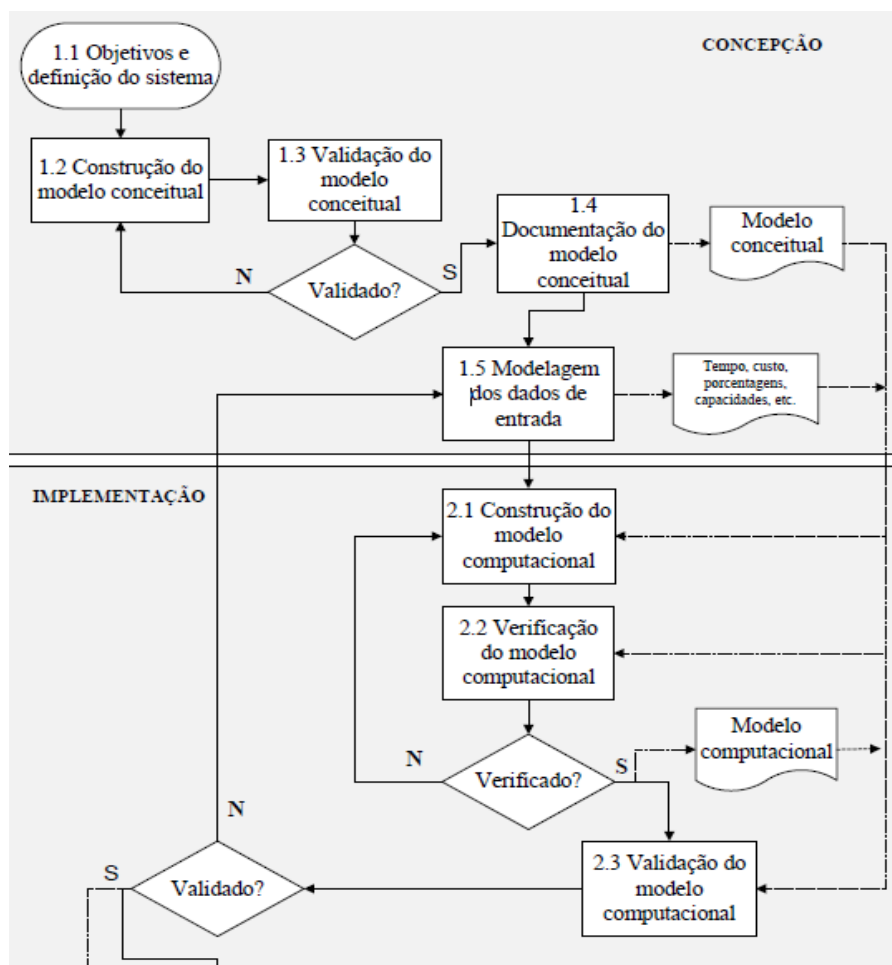


Figura 3.4 – Trecho da sequência de passos para a simulação
Fonte: Adaptado de Montevechi *et al.* (2010a)

Por fim, é importante frisar que a linha de produção de placas eletrônicas se encaixa como objeto de estudo elegível para testar a abordagem proposta, pois possui 10 etapas com processos manuais e semi-automáticos operando com um alto volume de produção, sendo que, a abordagem proposta se baseia na forma de coletar os dados, tempos de processamento, e modelá-los para portanto tentar descobrir se esta abordagem pode afetar o nível de confiabilidade da validação do modelo computacional. Vale ressaltar também que, para a coleta desses dados de pesquisa foram utilizados cronômetros e filmadoras e uma planilha no Excel para melhor armazenar os dados.

4. Coleta e análise dos tempos

4.1. Considerações iniciais

A presente pesquisa teve como objeto de estudo uma linha de produção de uma empresa de médio porte do ramo da eletrônica situada na cidade de Santa Rita do Sapucaí – MG. Esta linha de produção realizava a atividade de montagem de placas eletrônicas e trabalhava com um mix de placas reduzido e um volume produtivo alto. A linha de produção considerada utilizava um layout em U e um arranjo físico por produto, com dez etapas:

- etapa 1, montagem PTH01: nessa etapa os primeiros componentes eletrônicos eram inseridos na placa manualmente por meio de um operador que utilizava como referência a folha de processo 1 que servia para indicar onde cada componente deveria ser colocado;
- etapa 2, montagem PTH02: nessa etapa mais componentes eletrônicos eram inseridos na placa manualmente por meio de um operador que utilizava como referência a folha de processo 2 que servia para indicar onde cada componente deveria ser colocado;
- etapa 3, montagem PTH03: essa etapa representava a última parte da inserção de componentes eletrônicos na placa e era feita por meio de um operador que utilizava como referência a folha de processo 3 que servia para indicar onde cada componente deveria ser colocado;
- etapa 4, revisão da PCI: nessa etapa um operador era responsável por verificar se a montagem PTH, realizada nas 3 etapas anteriores estava correta;
- etapa 5, *touch-up* nessa etapa 3 operadores observando as orientações da folha de processo realizavam a inserção de componentes mais críticos do ponto de vista da montagem. Ou seja, eram componentes mais trabalhosos para inserir e requeriam vários pontos de solda específicos;
- etapa 6, CQP (controle de qualidade da produção): nessa etapa um operador tinha como tarefa verificar se até esse estágio a placa estava corretamente montada e se todas as soldas da placa estavam feitas e se não havia nenhum curto-circuito ou sujeira na mesma;
- etapa 7, teste FCT (teste funcional): nessa etapa um operador era responsável por verificar se a placa estava funcionando corretamente, ou seja, para garantir que o dispositivo em teste cumpre as suas especificações técnicas. Logo o objetivo desse teste FCT é imitar ou simular o ambiente operacional do produto, a fim de verificar a sua funcionalidade correta;
- etapa 8, teste ICT (teste do circuito): nessa etapa 2 operadores eram responsáveis por verificar se o circuito da placa estava funcionando corretamente, onde uma sonda elétrica testava a placa, verificando curtos, aberturas, resistência, capacitância e outros parâmetros base que irão mostrar se a montagem e o primeiro teste foram corretamente executados nas etapas anteriores;

- etapa 9, CQF (controle da qualidade final): nessa etapa 2 operadores eram responsáveis por fazer uma última inspeção de qualidade na placa e fazer o lançamento de alguns parâmetros no sistema da empresa;

- etapa 10, embalagem: nessa última etapa do processo considerado na presente pesquisa um operador era responsável por fazer a embalagem da placa, usando material anti-estático e colocando em uma embalagem própria conforme a especificação do cliente.

4.1.1. Coleta dos dados

Para se atingir o objetivo proposto na presente pesquisa, foi necessário se realizar um intenso trabalho de cronometragem das etapas apresentadas anteriormente. Ao todo foram feitas 3.000 tomadas de tempos de processamento no decorrer de 9 meses de coleta de dados. Estes 3.000 tempos foram divididos como mostra as Tabelas 4.1a e 4.1b.

Turno	Período	Etapa 01	Etapa 02	Etapa 03	Etapa 04	Etapa 05
Manhã	07:40 as 09:00	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt
	09:00 as 11:40	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt
Tarde	13:00 as 15:00	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt
	15:00 as 17:00	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt
Total/dia		60 Tt	60 Tt	60 Tt	60 Tt	60 Tt

Tabela 4.1a – Método de coleta de dados

Turno	Período	Etapa 06	Etapa 07	Etapa 08	Etapa 09	Etapa 10
Manhã	07:40 as 09:00	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt
	09:00 as 11:40	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt
Tarde	13:00 as 15:00	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt
	15:00 as 17:00	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt	15 Tt
Total/dia		60 Tt	60 Tt	60 Tt	60 Tt	60 Tt

Tabela 4.1b – Método de coleta de dados

Onde:

Tt = tomadas de tempo

Como em cada dia foram coletados 60 tempos da forma como foi mostrado nas tabelas 4.1a e 4.1b, os 3.000 tempos cronometrados se justificam pela necessidade de se cronometrar cada uma das 10 etapas de montagem 60 vezes (sendo 15 tomadas de tempo em cada um dos 4 períodos diários), ao longo dos 5 dias da semana.

Para fazer o trabalho de tomada de tempo, utilizou-se três cronômetros em conjunto com as câmeras de filmagens que ficavam no teto da linha de produção. Como procedimento para “otimizar” o processo de cronometragem, adotou-se a prática de realizar quando possível a cronometragem de até três operações ao mesmo tempo. Sendo assim, esse método só se mostrava eficiente nas etapas que tinham o maior tempo de ciclo e sua vantagem era permitir a tomada de até três tempos, simultaneamente, por uma única pessoa.

Inicialmente, no primeiro dia foi usada uma câmera tripé para as filmagens, mas no dia seguinte o supervisor de produção proibiu o uso da mesma alegando que os operadores estavam ficando constrangidos com tal equipamento. A solução foi então usar as filmagens obtidas das câmeras que ficavam no teto da linha de produção com a autorização do responsável do setor. Devido à posição que essas câmeras ficavam, foi possível coletar os tempos das etapas 1,2,8 e 9.

Vale ressaltar que, as tomadas de tempos conseguidas nos primeiros dias por meio da cronometragem direta foram todas desconsideradas, pois os trabalhadores estavam em um ritmo de produção fora da normalidade. Só depois de explicar que os tempos estavam sendo mensurados para um trabalho acadêmico, que os operadores começaram a trabalhar dentro de um ritmo considerado “normal” pelo líder da linha de produção.

É importante salientar que, os dados de cada etapa foram coletados sempre do mesmo operador. Por exemplo, as 300 tomadas de tempos referentes à etapa 01 (PTH1) foram coletadas sempre do operador 1. Na etapa 02 (PTH2) as 300 tomadas de tempo foram tomadas sempre do operador 2 e assim por diante. Dessa forma as variações dos tempos de produção, não podem ser atribuídas por diferenças de habilidades dos operadores.

4.2. Análise pré-simulação

A primeira ação a ser feita com essa grande quantidade de dados, foi a análise estatística com o uso do software MINITAB®. Na próxima seção, é apresentado como os dados foram analisados.

4.2.1. Teste *two sample t* dos dados de entrada

O objetivo dessa análise é verificar se existe uma variação no tempo de produção estatisticamente comprovada no decorrer do dia para cada uma das dez etapas. Para tanto, fez-se uso do teste *two sample t* com um nível de 95% de confiança, respeitando-se as premissas de normalidade e independência dos dados. Também foi necessário se fazer um teste para se comparar as variâncias. Nesse teste, considerou-se também um nível de confiança de 95%, isso devido ao fato do teste *two sample t*, necessitar da informação sobre a igualdade ou não das amostras que serão comparadas como parâmetro de entrada.

A Tabela 4.2, foi construída por meio da comparação entre amostras da manhã com as amostras da tarde para as dez etapas da linha de montagem. Para tanto, se considerou que a hipótese inicial H_0 é que a média dos tempos de processamento são iguais. A hipótese alternativa H_1 é que a média dos tempos de processamento são diferentes. Se $P\text{-Value} < 0,05$ (do relatório MINITAB), rejeita-se a hipótese inicial. Caso contrário, quando $P\text{-Value} > 0,05$ não há evidências estatísticas para rejeitar H_0 .

Sendo assim, para se comprovar as variações do dia, separou-se as amostras de cada etapa em dois períodos, manhã e tarde, sendo que, em cada período usou-se 150 dados. Os resultados são apresentados na Tabela 4.2, sendo MED a abreviação de médias estatisticamente diferentes.

COMPARAÇÃO	NÍVEL DE CONFIANÇA	95%	95%	CONCLUSÃO
	ETAPA	VARIÂNCIAS IGUAIS?	TESTE -T	
MANHÃ x TARDE	ETAPA 1	SIM	REJEITA-SE H0	MED
MANHÃ x TARDE	ETAPA 2	NÃO	REJEITA-SE H0	MED
MANHÃ x TARDE	ETAPA 3	SIM	REJEITA-SE H0	MED
MANHÃ x TARDE	ETAPA 4	SIM	REJEITA-SE H0	MED
MANHÃ x TARDE	ETAPA 5	NÃO	REJEITA-SE H0	MED
MANHÃ x TARDE	ETAPA 6	NÃO	REJEITA-SE H0	MED
MANHÃ x TARDE	ETAPA 7	NÃO	REJEITA-SE H0	MED
MANHÃ x TARDE	ETAPA 8	SIM	REJEITA-SE H0	MED
MANHÃ x TARDE	ETAPA 9	NÃO	REJEITA-SE H0	MED
MANHÃ x TARDE	ETAPA 10	SIM	REJEITA-SE H0	MED

Tabela 4.2 – Comparações usando o teste *two sample t*

Da Tabela 4.2 apresentada, pode-se ratificar a primeira hipótese enunciada nessa presente pesquisa, que diz:

- 1) A média dos tempos de processamento da parte da manhã é diferente da média dos tempos de processamento da parte da tarde, para todas as etapas.

Verifica-se que, em todas as comparações a média aritmética dos tempos de processamento das atividades é estatisticamente diferente, ou seja, o conjunto de tempos coletados na parte da manhã é diferente segundo a estatística do conjunto de tempos coletados na parte da tarde para todas as etapas.

Logo, essa conclusão aponta para um indício de que os operadores trabalham em ritmos diferentes nas dez etapas consideradas nessa pesquisa e que essa diferença no ritmo é devido a variação do tempo de processamento de cada atividade considerada, que por sua vez é afetada pelo fator humano. Esse fato, justifica a criação de cenários nesta presente pesquisa que considerem um dia de trabalho dividido em períodos. Outro ponto importante a se destacar é que quando o profissional da área de simulação for fazer um projeto de simulação de uma linha de produção, por exemplo, o mesmo deverá ter que fazer um bom planejamento para a coleta de dados, no que tange aos tempos de processamento por atividade ou etapa. Nesse caso, deve-se ter em conta que a hora do período do dia que se faz a tomada de tempo é de extrema importância.

Portanto, em um projeto de simulação que usa uma amostragem que utiliza, por exemplo, a tomada de tempos que considera somente o período da manhã, pode levar a um resultado da validação computacional que apresenta um baixo nível de confiança, uma vez que a média dos tempos de processamento do período matutino pode ser diferente da média dos tempos de processamento do período vespertino. E um modelo de simulação com baixa confiança, retorna valores pouco confiáveis para o analista do projeto de simulação. Vale ressaltar, que essas conclusões parciais se limitam ao tipo de processo estudado nessa presente pesquisa, que trata de uma linha de montagem de placas eletrônicas que trabalha com um alto volume de produção em um processo que é composto de atividades que são manuais e atividades que são semi-automáticas.

4.2.2. Análise Gráfica da variação do ritmo de trabalho humano

As Figuras 4.1 e 4.2, foram obtidos por meio dos dados cronometrados de algumas etapas, que são os tempos de processamento das etapas 3, 5, 7 e 10 e tem o propósito de mostrar a variação do ritmo do trabalho humano no decorrer da semana, e a variabilidade ou estabilidade dos tempos de processamento em função de algumas características específicas da linha de montagem considerada: processos semi-automático/manual e a atividade que apresenta um baixo tempo de ciclo. A Figura 4.1, mostra a variação do tempo de processamento para a etapa 03 que é referente a inserção manual dos componentes eletrônicos na placa de circuito integrado. Essa figura, foi gerada e selecionada com o objetivo de se mostrar a variação do tempo de processamento em relação aos dias extremos da semana considerados nessa pesquisa, ou seja, a segunda-feira e a sexta-feira. Na Figura 4.1, o eixo das abcissas representa a quantidade de dados cronometrados considerados. Para esse caso foram considerados 60 tempos de processamento. O eixo das ordenadas, representa os tempos de processamento para a realização da etapa 03. A curva vermelha representa os dados de sexta-feira e a curva azul representa os dados de segunda-feira. Pode-se observar, que a curva vermelha está acima da azul para quase todos os pontos. Isso indica que, na curva vermelha os tempos de processamento são maiores do que na curva azul. Logo, os tempos da sexta-feira estão em média maiores que os tempos de segunda-feira. Isso aponta para o fato de que a variação dos tempos de processamento está ocorrendo, e que os tempos médios da sexta-feira são maiores que o da segunda-feira. Portanto, quando se for realizar um trabalho de cronoanálise para ser usado em um projeto de simulação, deve-se buscar obter os dados no decorrer da semana inteira para tentar representar da melhor maneira possível a situação real. Essa situação real aponta que o operador tende a diminuir seu ritmo no decorrer da semana.

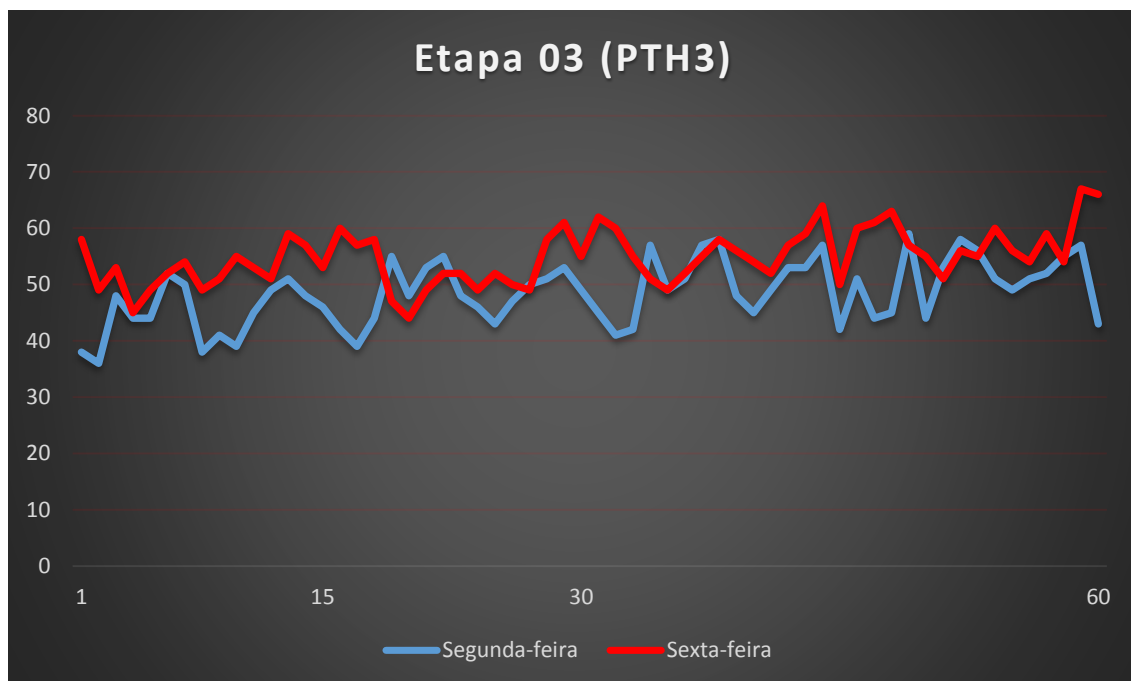


Figura 4.1 – Variação do ritmo de trabalho em função do dia da semana

A Figura 4.2, foi obtida a partir de cronometragens realizadas na quinta-feira (foi selecionada devido à maior “discrepância” entre as curvas), e tem o objetivo de apontar o comportamento de três curvas em função de suas características. Sendo que, o eixo das abscissas representa a quantidade de dados cronometrados considerados. Para esse caso, também são considerados 60 tempos de processamento. O eixo das ordenadas representa os tempos de processamento para a realização das etapas consideradas.

-curva azul: é referente à etapa 05 (*touch-up*) da linha de montagem de placas. Nessa etapa os operadores têm como atividade realizar a inserção de componentes mais críticos. Pode-se dizer que é uma etapa totalmente manual. Da Figura 4.2 observa-se uma variação em seu tempo de processamento.

-curva vermelha: é referente à etapa 07 (teste funcional) da linha de montagem de placas. Nessa etapa é realizado um teste na placa eletrônica por meio de um processo semi-automático, pois dispositivos de auxílio ao processamento são utilizados. Da Figura 4.2 pode-se verificar que seu processo apresenta uma certa “estabilidade”.

-curva amarela: é referente à etapa 10 (embalagem) da linha de montagem de placas. Nessa etapa é realizado a embalagem final da placa eletrônica. Trata-se de um processo com um tempo de ciclo extremamente baixo, por volta dos 15 segundos. Ou seja de 15 em 15 segundos uma placa é embalada. Da Figura 4.2, observa-se uma “estabilidade” quase que perfeita. Embora exista uma variação, essa é pouco relevante devido ao baixo valor da variância estatística, bem próximo de “0”.

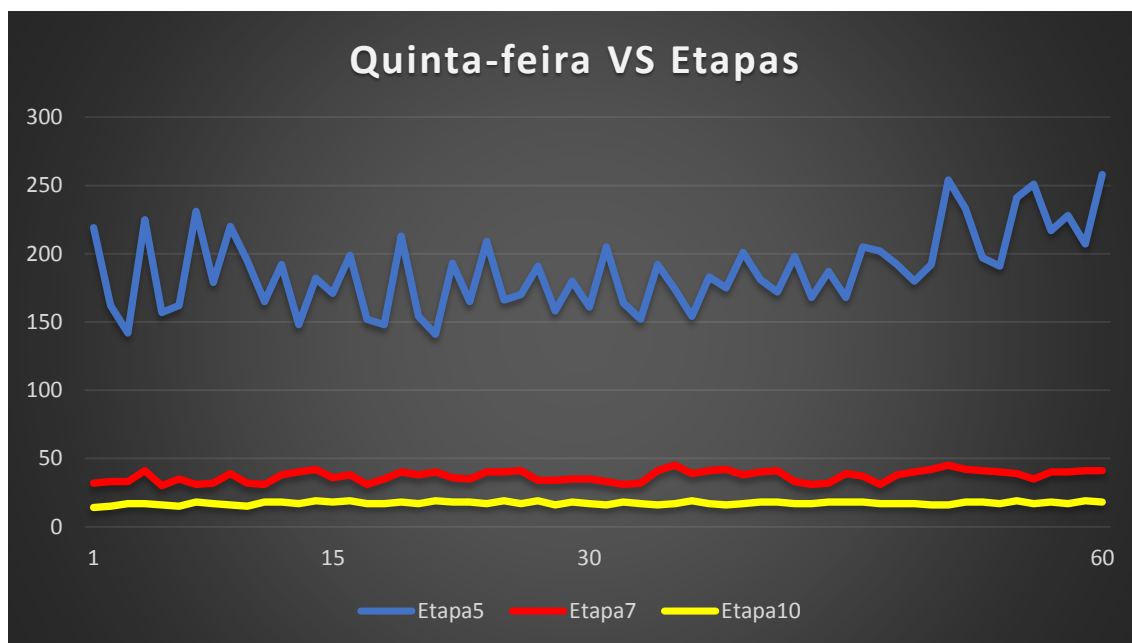


Figura 4.2 – Variação do tempo de processamento em função do tipo de atividade

É provável que, quanto mais uma atividade se aproxime de um processo automático menor é o peso da influência da variação do ritmo do trabalho humano. Pode-se observar também, que a etapa 10 está menos suscetível à alteração do ritmo do trabalho humano; isso pode ser devido ao fato dessa atividade apresentar um tempo de ciclo extremamente

baixo, ou seja, na casa dos 15 segundos para se fazer a embalagem das placas eletrônicas. Por fim, é plausível afirmar que quanto mais uma atividade se aproxime de um processo manual, maior é o peso da influência da variação do ritmo do trabalho humano.

Do ponto de vista prático, ficou evidenciado o fato de que quando se deseja obter tempos de processamento das etapas de um processo, deve-se fazer uma coleta de tempos no decorrer de toda a semana, para se representar da melhor forma possível o efeito da variação do ritmo de trabalho no decorrer da semana.

Por outro lado a Figura 4.2, aponta para o seguinte fato: quando se desejar fazer a modelagem de um processo grande, com várias etapas, deve-se priorizar a tomada de tempos criteriosa das atividades manuais, pois tendem a apresentar a maior variação em função do dia da semana e do horário. Já as atividades automáticas e com baixo tempo de ciclo não precisam, a priori de um conjunto de dados muito representativo.

5. Simulação a eventos discretos

Este capítulo, apresenta as etapas de concepção e implementação usadas na presente pesquisa. Na etapa de concepção é mostrada primeiro a forma como foi feita a modelagem conceitual, onde para tanto usou-se a técnica IDEF-SIM apresentada inicialmente por Leal *et al.* (2008). Em seguida, é apresentada a forma usada para aplicar-se a modelagem dos dados de entrada. Nesse caso, usou-se uma abordagem diferenciada na coleta de tempos, para em seguida se fazer a transformação desses tempos em distribuições de probabilidade conforme a definição de cada cenário. Na etapa de implementação é apresentada a forma como foi desenvolvido o modelo computacional. E por fim, mostra-se a definição e aplicação dos cenários propostos.

5.1. Modelo conceitual IDEF-SIM

A Figura 5.1 mostra o IDEF-SIM da linha de montagem das placas eletrônicas. Essa modelagem do processo por meio dessa técnica foi a base principal para a construção do modelo conceitual.

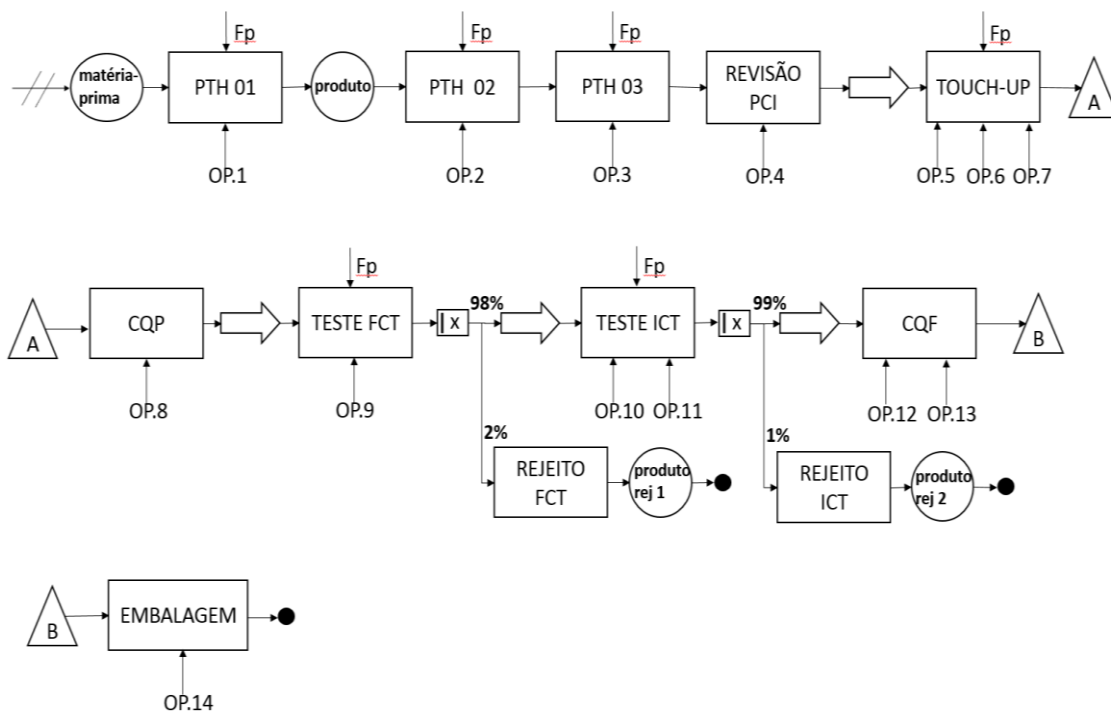


Figura 5.1 – IDEF-SIM da linha de montagem das placas eletrônicas

A Figura 5.1, mostra que a matéria prima entra no processo pela etapa PTH 01. Esta matéria prima, refere-se à placa de circuito impresso eletrônico com vários componentes inseridos via processo automático, que se utiliza de máquinas que realizam a inserção de pequenos componentes eletrônicos. Em seguida, essa matéria-prima segue para a

montagem de componentes do tipo PTH 01. Essa etapa é executada de acordo com uma folha de processo e necessita de um operador para sua realização.

Logo após, é gerada a entidade nomeada de produto, que segue para a montagem PTH 02. Essa etapa, também é executada de acordo com um procedimento de montagem e se utiliza de um operador. Em seguida, o produto segue para a etapa PTH 03 que também se utiliza de uma folha de processo como referência para montagem e de um operador. Em seguida, o produto segue para a etapa 04 que trata de revisar por meio de um único operador o produto e garantir que os processos anteriores de montagem foram bem executados. Logo após, o produto é transportado manualmente para etapa 05, onde são inseridos mais alguns componentes. Para tanto, são necessários três operadores que observando as orientações da folha de processo realizam a operação. Depois dessa etapa, o produto fica completamente montado restando nas próximas etapas o teste, qualidade e embalagem.

A entidade produto, segue então para o CQP (controle de qualidade da produção), onde o operador tem como tarefa verificar se até esse estágio a placa está corretamente montada, se todas as soldas da placa estão feitas e se não há nenhum curto-circuito ou sujeira na mesma.

Depois a entidade produto é transportada manualmente até a etapa 07, que é responsável por fazer o teste funcional. Nessa etapa, um operador era responsável por verificar se a placa estava funcionando corretamente, para garantir se a placa cumpria todas as suas especificações técnicas. Nesse local existe duas possibilidades. Ou a entidade produto segue para o local rejeito FCT (2%), e em seguida se transforma em produto rej ou a entidade produto é transportada manualmente até o teste do circuito (98%). Nessa etapa, dois operadores eram responsáveis por verificar se o circuito da placa estava funcionando corretamente. Para tanto, alguns testes eram efetuados para se determinar se a montagem e o primeiro teste foram corretamente executados nas etapas anteriores. Nesse local, também existe duas possibilidades. Ou a entidade produto segue para o local rejeito ICT (1%), e em seguida se transforma em produto rej 2 ou a entidade produto segue para a etapa de controle final de qualidade (99%). Nessa etapa, dois operadores eram responsáveis por fazer uma última inspeção de qualidade na placa e fazer o lançamento de alguns parâmetros no sistema da empresa.

Por fim, a entidade produto segue para a última etapa da linha de montagem das placas eletrônicas. Na etapa 10, um operador era responsável por fazer a embalagem da placa, usando material anti-estático e colocar em uma embalagem própria conforme a especificação do cliente. Vale ressaltar, que linha de montagem se utiliza de uma esteira motorizada da etapa 01 até a etapa 04. Da etapa 04 em diante, o transporte entre as etapas restantes é feito manualmente. Por fim, é relevante frisar que a validação do modelo conceitual, representada pelo IDEF-SIM, foi feita pelos gestores da linha de produção usada na presente pesquisa.

5.2. Modelagem dos dados de entrada

Para criar os quatro cenários apresentados nessa presente pesquisa, foi necessário a construção de uma tabela com 360 distribuições de probabilidade. Essas 360 distribuições

foram criadas com o uso da ferramenta *StatFit*, presente no software Promodel®. A tabela completa se encontra no Anexo 01 – Tabela de distribuições de probabilidade. O procedimento para a identificação das distribuições foram os seguintes:

- Primeiro a amostra era inserida na tabela inicial do *StatFit* e em seguida o comando *autofit* era utilizado.
- Logo após o *Statfit* retornava as distribuições de probabilidade elegíveis que poderiam representar a amostra inserida.
- Por fim a distribuição de probabilidade era selecionada com base no maior valor do *rank*, como mostra a Figura 5.2.

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Lognormal(69.5, 2.7, 0.328)	100	do not reject
Normal(85.2, 5.06)	83.3	do not reject
Exponential(77., 8.2)	2.21	do not reject
Uniform(77., 97.)	1.6	do not reject

Figura 5.2 – Seleção do tipo de distribuição estatística

- para o cenário 1, foi gerado para cada etapa de montagem, uma distribuição de probabilidade por dia da semana para representar o turno inteiro de trabalho. Este cenário, tem por objetivo verificar se a consideração de apenas uma distribuição de probabilidade é suficiente para se validar o modelo computacional.

- para o cenário 2, foram geradas para cada etapa de montagem, duas distribuições de probabilidade representando a parte da manhã e a parte da tarde de cada dia da semana. Este cenário, tem por objetivo verificar se a consideração diária de duas distribuições de probabilidades é suficiente para se validar o modelo computacional.

- para o cenário 3, foram geradas quatro distribuições de probabilidade representando a manhã 1º período (07:40 às 09:00), manhã 2º período (09:00 às 11:40), tarde 3º período (13:00 às 15:00) e tarde 4º período (15:00 às 17:00) por dia da semana. Este cenário, tem por objetivo verificar se a consideração de quatro distribuições de probabilidades é suficiente para se validar o modelo computacional.

-para o cenário 4, foi gerada uma distribuição de probabilidade para representar a semana inteira da atividade de cada etapa. Para tanto, foi realizado uma seleção aleatória nos dados de cada etapa buscando-se 30 dados em 300 dados disponíveis para cada etapa. Logo, no final 10 distribuições de probabilidade foram construídas. O objetivo desse último cenário, é verificar se a consideração de apenas uma distribuição de probabilidade por semana para cada etapa é suficiente para se validar o modelo computacional. Esse cenário representa uma situação comum dentro da fase de coleta de dados de muitos projetos de simulação, quando o responsável pelo projeto de simulação vai fazer a coleta de tempos que serão inseridos no modelo computacional e faz uma cronometragem diluída por toda a semana sem atentar-se ao dia da semana nem ao horário.

5.3. Modelo computacional

A Figura 5.3, mostra a visualização gráfica do modelo computacional da linha de montagem das placas eletrônicas por meio do software de simulação.

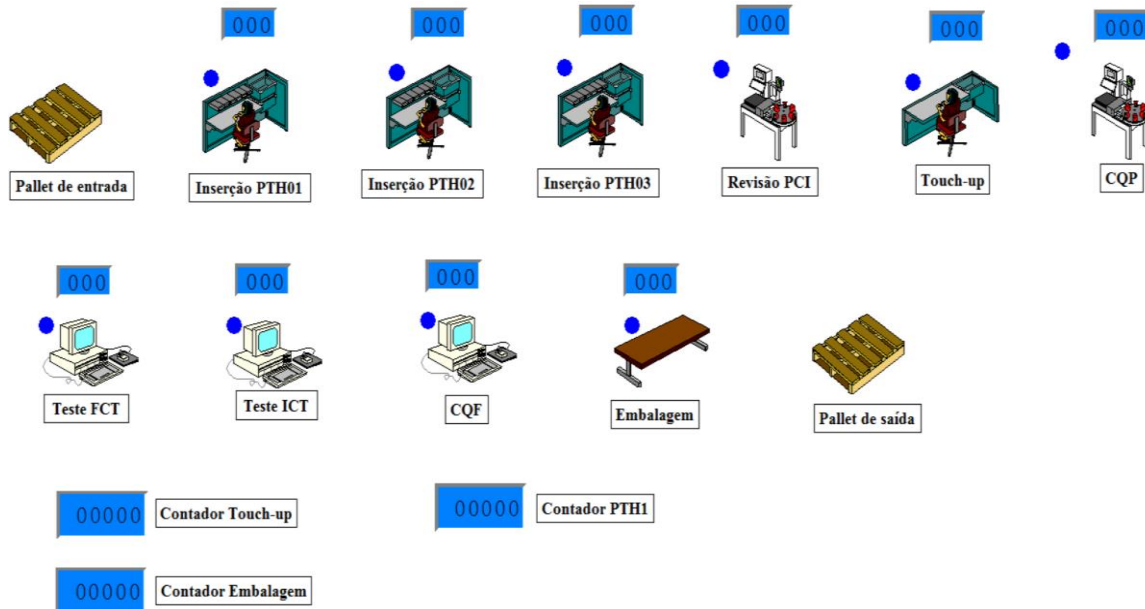


Figura 5.3 - Visualização gráfica do modelo computacional

Como um artifício de verificação do modelo computacional foram criadas 10 variáveis tempo, uma para cada etapa, para conferir visualmente se nada de anormal estava ocorrendo nas mudanças de distribuição de probabilidade no decorrer da simulação. Também, foram criadas 3 variáveis para fazer a contagem de peças no início do processo - PTH01, no meio do processo - TOUCH-UP e no final do processo - EMBALAGEM. A finalidade dessa verificação, era ter certeza se as entidades estariam de fato passando por esses referidos locais antes da simulação terminar.

Os comandos mais importantes que foram usados no referido modelo computacional, foram os comandos *calhour* e *calday*. O comando *calhour*, serviu para especificar na lógica de processamento do modelo computacional um dado intervalo em que uma dada distribuição de probabilidade foi utilizada.

O comando *calday*, serviu para fazer a diferenciação entre os dias da semana que uma dada distribuição de probabilidade foi utilizada, dentro de um intervalo específico que foi determinado de acordo com o período do dia. Os comandos mencionados acima, foram utilizados dentro da lógica condicional *IF THEN/ELSE*. Ou seja, a lógica do código de processamento foi diferente para cada um dos quatro cenários usados na presente dissertação, no que tange à utilização dos dados de entrada, que estão associados por sua vez aos tipos de distribuições de probabilidade.

A inserção das distribuições de probabilidade para cada linha de código IF THEN/ELSE, foi uma tarefa bem sistemática.

Também, foi necessária a criação de um turno (arquivo “turno2”) para ser designado no modelo computacional. Nesse turno, as atividades seguiam os seguintes horários:

- das 07:40 até 11:40 – parte manhã;
- das 11:40 até 13:00 – horário de almoço;
- das 13:00 até 17:00 – parte da tarde.

A Figura 5.4, mostra um trecho da lógica de processamento empregada no modelo computacional do cenário 3 na etapa 1 – PTH01. Para esse cenário, foram usadas quatro distribuições de probabilidade por dia em 5 dias da semana.

O comando *calday* = 1 refere-se a segunda-feira, *calday* = 2 refere-se a terça-feira e assim sucessivamente até *calday* = 5 que refere-se a sexta-feira. O comando *calhour* é usado quatro vezes por dia no cenário 3. Quando por exemplo *calday* = 2, o comando *calhour* é utilizado quatro vezes, sendo que sempre é acompanhado de uma distribuição de probabilidade logo em seguida.

Por exemplo, na figura 5.4, quando *calday* = 4, significa que a simulação do modelo computacional está passando pela quinta-feira. Em seguida é mostrado *calhour* > 6 and *calhour* < 9. Essa formatação do comando é referente ao 1º período do dia considerado na abordagem, que utiliza-se do dia fracionado em quatro partes.

Por fim, dentro desse período tem-se que $\text{tempo1} = 32.7 + L(25.9, 7.41)$. Indica que para o dado período citado anteriormente, entrará a distribuição de probabilidade estatística Lognormal com os respectivos parâmetros. Portanto, foi dessa forma que foi construído e implementado a lógica de programação no código de processamento do software Promodel®, para considerar diferentes distribuições de probabilidade estatística em função do período do dia em um projeto de simulação a eventos discretos.

```

IF CALDAY< > 4 AND CALHOUR< > > 6 AND CALHOUR< > < 9 THEN
{
tempo1= 32.7+L(25.9, 7.41)
}
ELSE
IF CALDAY< > 4 AND CALHOUR< > > 8 AND CALHOUR< > < 12 THEN
{
tempo1= 52.5+L(17.3, 16.6)
}
IF CALDAY< > 4 AND CALHOUR< > > 12 AND CALHOUR< > < 15 THEN
{
tempo1= 29.9+L(38.1, 7.51)
}
IF CALDAY< > 4 AND CALHOUR< > > 14 AND CALHOUR< > < 17 THEN
{
tempo1= 41.7+L(33.4, 8.14)
}
}

```

Figura 5.4 – Trecho da lógica de processamento

5.4. Cenários

A seguir quatro cenários são apresentados, sendo que a diferença entre eles está na forma como os dados de entrada foram divididos e considerados:

- para o cenário 1, Figura 5.5, foram usados no código de processamento uma distribuição de probabilidade por dia da semana por etapa, para representar os tempos do dia inteiro de produção. Dessa forma, usou-se todos os dados cronometrados do dia para gerar uma distribuição de probabilidade por etapa. Vale ressaltar que, no trabalho de coleta dos tempos foram feitas 60 medições de tempos de processamento por dia. Logo, esta referida distribuição de probabilidade foi identificada a partir dessas medições.

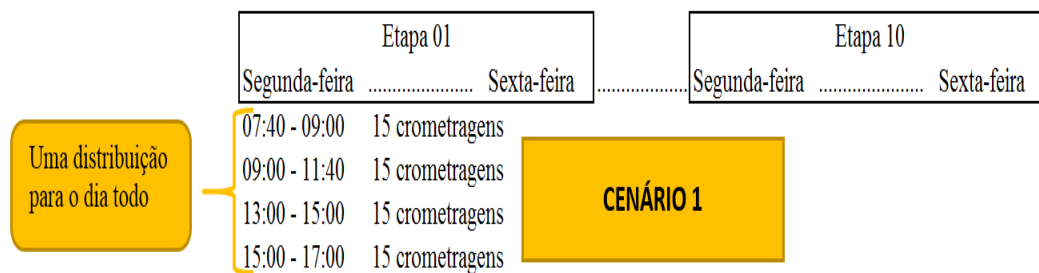


Figura 5.5 – Método de coleta de tempos para o cenário 1

- para o cenário 2, Figura 5.6, foram usados no código de processamento duas distribuições de probabilidade por dia da semana por etapa para representar o período da manhã e o período da tarde. Ou seja, dividiu-se o período do dia em duas partes: manhã e tarde. Em cada uma delas se atribuiu uma distribuição de probabilidade. Para todas as etapas, foram feitas 30 medições de tempos de processamento na parte da manhã e 30 medições na parte da tarde. Esse cenário foi desenvolvido, devido ao resultado do teste *two sample t* apurado no Capítulo 4, pois foi constatado por meio do teste estatístico que, para as dez etapas consideradas na pesquisa, que a média dos tempos de processamento da parte da manhã é diferente da média dos tempos de processamento da parte da tarde.

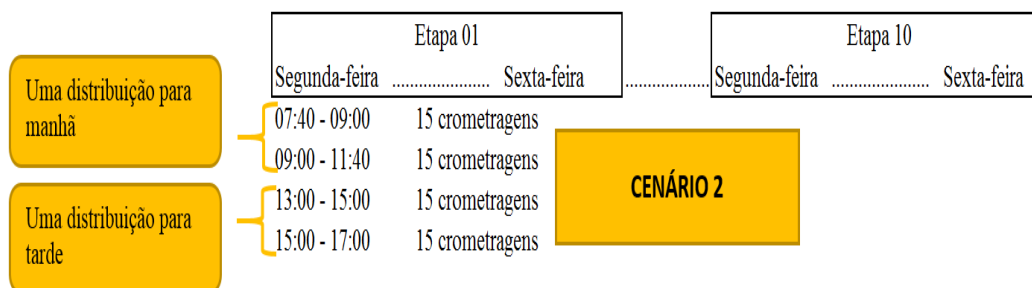


Figura 5.6 – Método de coleta de tempos para o cenário 2

- para o cenário 3, Figura 5.7, foram usados no código de processamento quatro distribuições de probabilidade por dia da semana por etapa para representar os períodos do dia (manhã 1º período, manhã 2º período, tarde 1º período e tarde 2º período). Esse

cenário é o mais dividido que a presente pesquisa propõe. Se a premissa inicial dessa dissertação é que o trabalhador da linha de montagem tem seu ritmo alterado conforme a hora do dia, e esse fato se reflete na variação do tempo de processamento da atividade que o mesmo desempenha, então a forma de quantificar esse acontecimento é dividindo ou fracionando os períodos do dia o máximo possível e para cada parte considerando-se uma distribuição de probabilidade. Ou seja, estatisticamente esse cenário é o que melhor representa ou quantifica a variação do ritmo do trabalho humano nessa pesquisa, pois é o que mais fraciona os períodos.

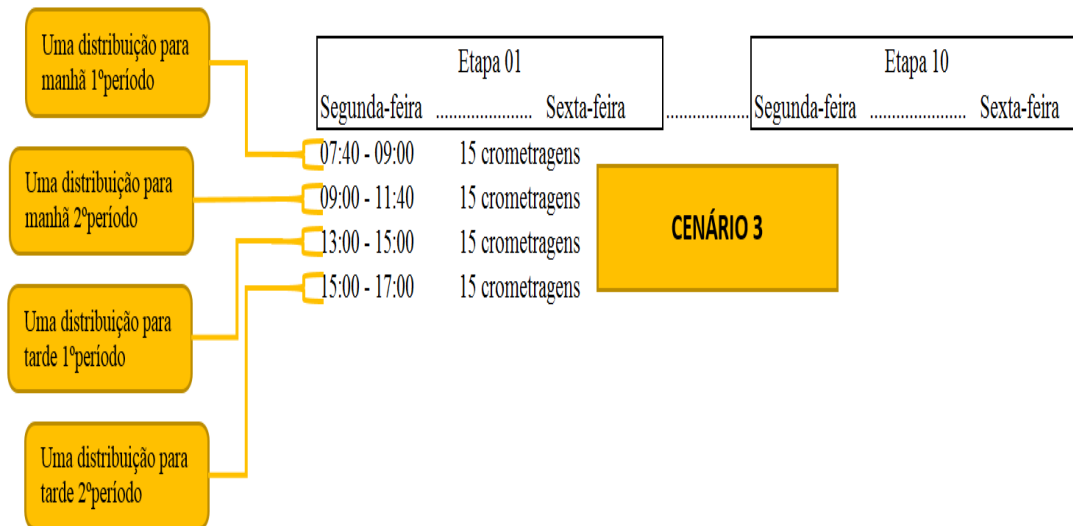


Figura 5.7 – Método de coleta de tempos para o cenário 3

- para o cenário 4, Figura 5.8, foram usados no código de processamento uma distribuição de probabilidade para representar a semana inteira de produção por etapa. Essa distribuição de probabilidade foi obtida, sobre uma amostra de 30 tomadas de tempo de processamento, que por sua vez foi obtida de maneira aleatória de outra amostra de 300 tomadas de tempo. Essa última amostra, representa todas as cronometragens feitas nos quatro períodos do dia por etapa. Para se obter os 30 tempos aleatórios, usou-se a seleção aleatória do MINITAB®. Para tanto, a busca foi feita em 300 dados, referente a todas as tomadas de tempo de uma dada etapa de segunda-feira até sexta-feira. O objetivo do cenário 4, é de replicar o comportamento de um profissional da área da simulação na etapa da concepção do projeto.

Na fase de coleta de dados, o responsável pelo projeto de simulação faz uma cronometragem dos tempos de processamento que serão usados no projeto de maneira diluída ao longo da semana, sem uma preocupação em organizar estes dados de entrada de acordo com o horário. Isso trará consequências negativas para o projeto, pois a modelagem dos dados de entrada está sendo feita como se operador fosse um mero recurso.

Não se assume nessa modelagem dos dados de entrada a variação do ritmo do trabalhador no decorrer do dia e da semana. Logo, na presente pesquisa a forma que se encontrou de

replicar esse comportamento do profissional da área da simulação foi apresentada no início desse cenário 4.

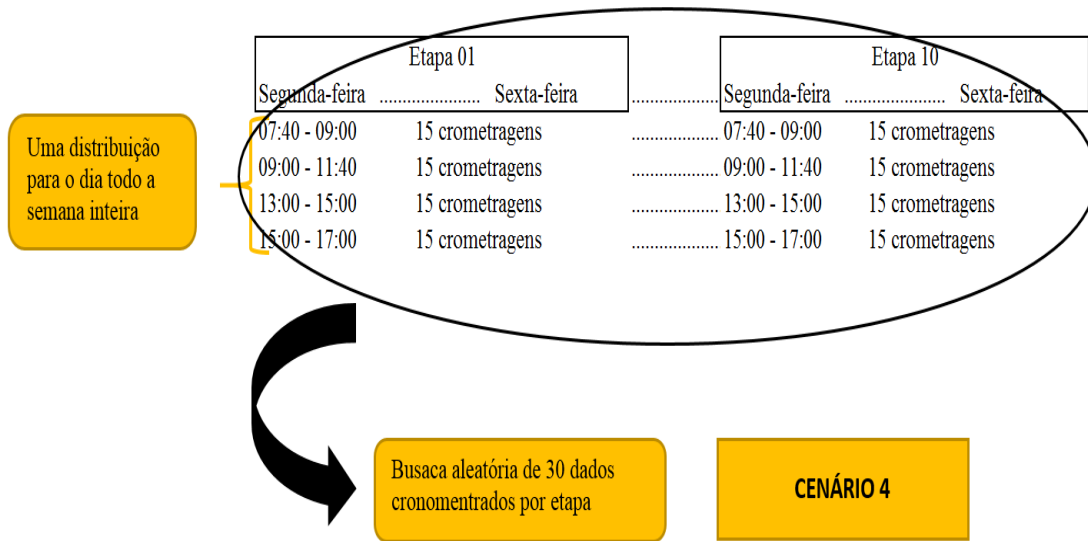


Figura 5.8 – Método de coleta de tempos para o cenário 4

6. Resultados

Esse capítulo, apresenta os resultados referentes à simulação dos quatro cenários descritos anteriormente. Foram produzidas 30 réplicas para cada cenário, onde a quantidade de saída do modelo computacional, refere-se ao total produzido ao longo de uma semana inteira de produção. Para esta pesquisa, considera-se a semana como sendo de segunda-feira até sexta-feira.

Também, são apresentados os resultados da validação do modelo computacional para cada cenário, quando são considerados diferentes níveis de confiança nos parâmetros da Equação (1). Por fim, é realizado o teste *two sample t* para se comparar os resultados produzidos em cada um dos quatro cenários, com os valores de produção semanal real da linha de montagem de placas eletrônicas.

6.1. Análises pós-simulação

A primeira ação para início das análises pós-simulação, foi construir a Tabela 6.1. Nessa tabela, tem-se os quatro cenários usados na presente dissertação. Cada cenário possui 30 réplicas, onde cada réplica representa a quantidade final produzida de placas embaladas no final da linha de produção, considerando-se a semana inteira de produção.

A Tabela 6.1, apresenta ainda os resultados para MÉDIA e DESVIO.PAD, ou seja, a média aritmética e o desvio padrão amostral, respectivamente, para as 30 réplicas dos resultados simulados. Esses últimos dois parâmetros, serão usados na fase de validação computacional que seguirá na próxima seção.

Vale ressaltar que, os valores de produção por semana são diferentes em cada réplica, pois usou-se distribuições de probabilidade no comando *wait* do Promodel®, o que por definição torna os quatro modelos computacionais (cada cenário possui um modelo computacional específico) aplicados nessa dissertação modelos estocásticos.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Réplicas	Total produzido na semana	Total produzido na semana	Total produzido na semana	Total produzido na semana
1	1588	1615	1597	1593
2	1585	1625	1603	1587
3	1588	1632	1602	1584
4	1589	1632	1607	1579
5	1580	1608	1610	1581
6	1591	1631	1605	1586
7	1593	1617	1604	1594
8	1588	1620	1605	1587

Tabela 6.1a – As 30 réplicas do total produzido por semana de cada cenário

Réplicas	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
	Total produzido na semana	Total produzido na semana	Total produzido na semana	Total produzido na semana
9	1590	1621	1599	1590
10	1595	1625	1611	1588
11	1580	1629	1606	1586
12	1587	1626	1602	1589
13	1585	1622	1610	1582
14	1587	1616	1606	1589
15	1579	1620	1600	1577
16	1577	1627	1601	1580
17	1595	1610	1590	1585
18	1588	1628	1605	1585
19	1588	1614	1608	1590
20	1588	1623	1593	1586
21	1593	1619	1611	1582
22	1584	1614	1620	1586
23	1590	1632	1608	1591
24	1586	1631	1602	1580
25	1594	1623	1604	1591
26	1596	1637	1617	1585
27	1579	1615	1598	1586
28	1579	1631	1605	1594
29	1584	1622	1602	1580
30	1591	1620	1621	1592
MÉDIA	1587,23	1622,83	1605,07	1586,17
DESVIO.PAD	5,27	7,29	6,88	4,62

Tabela 6.1b – As 30 réplicas do total produzido por semana de cada cenário

6.1.1. Validação do modelo computacional

Uma informação imprescindível para a realização da validação do modelo computacional seguindo a Equação (1), são os dados reais de produção semanal. Vale ressaltar, que esses dados reais foram obtidos de 30 semanas consecutivas por meio do sistema de controle da produção da empresa onde foi realizada a presente pesquisa. A Tabela 6.2, apresenta os dados que foram utilizados nos parâmetros da Equação (1) para se obter os resultados finais da validação.

Parâmetros	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Xs	1587,23	1622,83	1605,07	1586,17
Xr	1606,93	1606,93	1606,93	1606,93
Ss	5,27	7,29	6,88	4,62
Sr	7,57	7,57	7,57	7,57
n	30	30	30	30

Tabela 6.2 – Parâmetros para os quatro cenários

Portanto, usando-se os dados da Tabela 6.2 e aplicando a Equação (1) nos quatro cenários, para os cinco níveis de confiança utilizados nessa pesquisa, tem-se os resultados da validação.

Nível de confiança	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
99%	NÃO-VALIDADO	NÃO-VALIDADO	VALIDADO	NÃO-VALIDADO
98%	NÃO-VALIDADO	NÃO-VALIDADO	VALIDADO	NÃO-VALIDADO
95%	NÃO-VALIDADO	NÃO-VALIDADO	VALIDADO	NÃO-VALIDADO
90%	NÃO-VALIDADO	NÃO-VALIDADO	VALIDADO	NÃO-VALIDADO
80%	NÃO-VALIDADO	NÃO-VALIDADO	VALIDADO	NÃO-VALIDADO

Tabela 6.3 – Resultado da validação para os quatro cenários

Fazendo-se o passo a passo do cálculo para um nível de confiança de 99% para os cenários 1 e 3 por exemplo, tem-se:

Dados utilizados no Cenário 1:

$$X_s = 1587,23$$

$$X_r = 1606,93$$

$$S_s = 5,27$$

$$S_r = 7,57$$

$$N = 30$$

$$t_{58,0.005} = 2,66$$

Aplicando-se a Equação (1):

$$(1587,23 - 1606,93) + 2,66 \cdot \sqrt{5,27^2 + 7,57^2/30} = -15,21$$

$$(1587,23 - 1606,93) - 2,66 \cdot \sqrt{5,27^2 + 7,57^2/30} = -24,19$$

Como o valor 0 não se encontra no intervalo [-24,19 -15,21), pode-se afirmar, segundo Kleijnen (1995) que o cenário 1 não validou.

Dados utilizados no Cenário 3:

$$X_s = 1605,7$$

$$X_r = 1606,93$$

$$S_s = 6,88$$

$$S_r = 7,57$$

$$N = 30$$

$$t_{58,0.005} = 2,66$$

Aplicando-se a Equação (1):

$$(1605,7 - 1606,93) + 2,66 \cdot \sqrt{6,88^2 + 7,57^2/30} = 3,11$$

$$(1605,7 - 1606,93) - 2,66 \cdot \sqrt{6,88^2 + 7,57^2/30} = -6,84$$

Como o valor 0 se encontra no intervalo $[-6,84 + 3,11)$ pode-se afirmar, segundo Kleijnen (1995) que o cenário 3 foi validado.

Prosseguindo-se de forma análoga, para os outros cenários e os outros níveis de confiança, chega-se na composição final, representada pela Tabela 6.3. Sendo que os resultados da validação computacional, mostram que apenas o cenário 3 foi validado e isso ocorreu para todos os níveis de confiança considerados na Equação (1). Para os demais casos a validação não ocorreu.

O cenário 3 foi o mais fracionado, pois considerou-se para esse caso uma distribuição de probabilidade por período do dia. Nesse caso, quatro períodos do dia foram considerados. Essa foi a forma encontrada de representar a variação do ritmo do trabalhador no decorrer do dia e da semana. Essa variação do ritmo afeta diretamente o tempo que o operador leva para realizar cada atividade. Como foi visto anteriormente, a validação do cenário 3 ocorreu para todos os níveis de confiança. Até mesmo para 99%, considerado extremamente alto. Logo, este cenário 3 produz um resultado bem próximo da situação real da produção semanal da linha de montagem considerada.

Os outros cenários não validaram, para todos os outros níveis de confiança considerados. Até mesmo o cenário 2, que considerou duas distribuições de probabilidade por dia não obteve a validação no final, embora o teste estatístico *two sample t* tenha apontado para o fato de que a média dos tempos de processamento da manhã é diferente da média dos tempos de processamento da tarde.

6.1.2. Comparação usando o teste two sample t entre os cenários

A Tabela 6.4, apresenta o resultado para todas as possibilidades de comparação entre os cenários de 1 à 4. Também, apresenta a comparação entre cada um dos cenários em relação aos valores reais de produção. Todas essas comparações foram realizadas por meio da técnica estatística conhecida como teste *two sample t*. Para se utilizar dessa técnica, é necessário se realizar um teste de hipótese que é definido da seguinte forma:

- a hipótese inicial H_0 é que a média dos valores produzidos semanalmente são iguais em cada comparação considerada.

- a hipótese alternativa H1 é que a média dos valores produzidos semanalmente são diferentes para cada uma das comparações.

Se P-Value < 0,05 (do relatório MINITAB), rejeita-se a hipótese inicial. Caso contrário, quando P-Value > 0,05 não há evidências estatísticas para rejeitar H0.

Para a obtenção dos valores de P-VALUE, foi usado o software MINITAB® e foi considerado para cada um dos cenários os valores da Tabela 6.1, que considera 30 réplicas. Para os valores de produção real semanal, usou-se os dados de 30 semanas consecutivas.

O objetivo dessa análise, é verificar se a média da produção semanal é estatisticamente igual ou diferente para cada uma das comparações. Usou-se para o teste *two sample t* um nível de 95% de confiança, respeitando-se as premissas de normalidade e independência dos dados. Também foi necessário se fazer um teste para se comparar as variâncias.

COMPARAÇÃO	TESTE NORMALIDADE	TESTE VARIÂNCIA	TESTE T	CONCLUSÃO
Cenário 1 x Cenário 2	SIM	SIM	REJEITA-SE H0	MED
Cenário 1 x Cenário 3	SIM	SIM	REJEITA-SE H0	MED
Cenário 1 x Cenário 4	SIM	SIM	ACEITA-SE H0	MEI
Cenário 2 x Cenário 3	SIM	SIM	REJEITA-SE H0	MED
Cenário 2 x Cenário 4	SIM	NÃO	REJEITA-SE H0	MED
Cenário 3 x Cenário 4	SIM	SIM	REJEITA-SE H0	MED
Real x Cenário 1	SIM	NÃO	REJEITA-SE H0	MED
Real x Cenário 2	SIM	SIM	REJEITA-SE H0	MED
Real x Cenário 3	SIM	SIM	ACEITA-SE H0	MEI
Real x Cenário 4	SIM	NÃO	REJEITA-SE H0	MED

Tabela 6.4 – Comparação entre os totais produzidos semanalmente

O teste de normalidade foi realizado para todas as comparações e como resultado, tem-se que todas as amostras apresentam um comportamento similar a curva normal. Referente aos testes de variância, observa-se que para cada uma das comparações um resultado foi apresentado. Para algumas comparações as variâncias foram iguais e para outros foram diferentes. Essa determinação sobre a variância é importante, pois é uma informação que deverá ser aplicada quando se realiza o teste *two sample t*.

Os resultados para as comparações entre os cenários, mostram que só existe uma igualdade estatística entre o cenário 1 e cenário 4. Para as outras comparações, as médias são diferentes.

Para as comparações entre os cenários e a produção real, tem-se que apenas o cenário 3 apresenta um conjunto médio de produção semanal igual a um conjunto médio da produção semanal real.

Isso aponta para o fato de que somente os resultados da média da produção semanal do cenário 3 é igual a média da produção semanal real.

Portanto, referente às hipóteses enunciadas no início da dissertação, pode-se afirmar de acordo com os resultados encontrados que todas são verdadeiras.

- 2) A média da produção semanal do cenário 3 é igual a média da produção semanal real.
- 3) A média da produção semanal do cenário 1 é diferente da média da produção semanal do cenário 2.
- 4) A média da produção semanal do cenário 1 é diferente da média da produção semanal do cenário 3.
- 5) A média da produção semanal do cenário 2 é diferente da média da produção semanal do cenário 3.

Do exposto acima, infere-se que a consideração da divisão do período do dia em quatro partes, mostra-se de extrema importância para o caso do objeto de estudo utilizado nessa presente dissertação. Ou seja, no projeto de simulação dessa referida linha de montagem, tal consideração leva a uma confiança extremamente elevada sobre os dados de saída do modelo computacional.

7. Conclusões

7.1. Verificação dos objetivos

O objetivo principal desta pesquisa, foi propor uma abordagem para consideração da variação do ritmo de trabalho humano em projetos de simulação a eventos discretos.

Desta forma, foi desenvolvido um modelo de simulação, no qual, o trabalho realizado em uma linha de montagem de placas eletrônicas foi modelado, levando-se em conta a variação do trabalho do fator humano, por meio de uma abordagem diferenciada nos dados de entrada.

A forma encontrada nesse trabalho para considerar a influência do ritmo do trabalho humano, foi pautada na modelagem dos dados de entrada, na fase de concepção de um projeto de simulação a eventos discretos. E baseou-se, na divisão dos períodos do dia sendo que para cada um desses períodos foi-se atribuído uma certa distribuição de probabilidade estatística.

O presente trabalho, também propôs no Capítulo 1 cinco hipóteses a serem testadas:

- 1) A média dos tempos de processamento da parte da manhã é diferente da média dos tempos de processamento da parte da tarde, para todas as etapas.
- 2) A média da produção semanal do cenário 3 é igual a média da produção semanal real.
- 3) A média da produção semanal do cenário 1 é diferente da média da produção semanal do cenário 2.
- 4) A média da produção semanal do cenário 1 é diferente da média da produção semanal do cenário 3.
- 5) A média da produção semanal do cenário 2 é diferente da média da produção semanal do cenário 3.

Como foi constatado e demonstrado anteriormente, todas as hipóteses consideradas se mostraram verdadeiras:

- verificou-se na página 50, por meio da Tabela 4.2, que em todas as comparações a média aritmética dos tempos de processamento das atividades é estatisticamente diferente, ou seja, o conjunto de tempos coletados na parte da manhã é diferente segundo a estatística do conjunto de tempos coletados na parte da tarde para todas as dez etapas. Esse fato foi suficiente para corroborar a primeira hipótese enunciada no trabalho.

- verificou-se na página 66, por meio da Tabela 6.4, que as hipóteses de dois à cinco foram corroboradas.

Logo após, fez-se a análise gráfica para se tentar identificar uma correlação ou padrão visual que explicasse a variação do ritmo de trabalho em função da semana. Constatou-se, que os tempos da sexta-feira estavam em média maiores que os tempos de segunda-feira. Isso apontou para o fato de que a variação dos tempos de processamento estava ocorrendo e que os tempos médios da sexta-feira eram maiores que o da segunda-feira.

Em seguida, usando-se as saídas do modelo computacional referentes aos quatro cenários, foi utilizada a Equação (1) em cada um dos cenários para se fazer a validação do modelo computacional.

No cenário 1, foi utilizada uma distribuição de probabilidade por dia da semana por etapa, no cenário 2, foram usadas duas distribuições de probabilidade por dia da semana por etapa, no cenário 3, foram usadas quatro distribuições de probabilidade por dia da semana por etapa e por fim no cenário 4, foi usada uma distribuição de probabilidade para representar a semana inteira de produção por etapa.

Os resultados da validação, mostram que apenas houve validação para o cenário 3, para todos os níveis de confiança avaliados na presente pesquisa. Este fato, corroborou a premissa inicial sobre a variação do ritmo de trabalho humano e sua influência na validação do modelo computacional. Vale salientar, que no cenário 3 o período do dia foi fracionado em quatro partes sendo uma respectiva distribuição de probabilidade para cada, com o objetivo de mostrar que cada uma dessas partes tem uma variação intrínseca e a mesma deve ser considerada, pois o operador altera seu ritmo no decorrer do dia.

Usando-se o teste *two sample t*, pode-se constatar que os 3 primeiros cenários são estatisticamente diferentes um do outro. Isso aponta novamente para a influência da variação do ritmo de trabalho humano nos projetos de simulação, uma vez que a consideração ou não de partes ou períodos do dia gera resultados diferentes dependendo de cada caso.

Estas constatações, reforçam a ideia da importância da modelagem do trabalho humano de acordo com seu biorritmo.

Sugere-se, a partir desse trabalho, que quando o profissional da área de simulação for fazer um projeto de simulação de uma linha de produção, por exemplo, o mesmo deverá ter que fazer um bom planejamento para a coleta de dados, no que tange aos tempos de processamento por atividade ou etapa. Nesse caso, deve-se ter em conta que a hora do período do dia que se faz a tomada de tempo é de extrema importância.

Do ponto de vista prático, ficou evidenciado o fato de que quando se deseja obter tempos de processamento das etapas de um processo, deve-se fazer uma coleta de tempos no decorrer de toda a semana para se representar da melhor forma possível o efeito da variação do ritmo de trabalho no decorrer da semana. Vale ressaltar também, que quando se desejar fazer a modelagem de um processo grande, com várias etapas, deve-se priorizar a tomada de tempos criteriosa das atividades manuais, pois tendem a apresentar a maior variação em função do dia da semana e do horário. Já as atividades automáticas e com baixo tempo de ciclo, não precisam a priori de um conjunto de dados muito representativo.

Conclui-se, assim, que em modelos de simulação, o recurso humano não deve ser tratado estatisticamente da mesma forma que os recursos automatizados. Influências no biorritmo podem apresentar diferenças significativas nas variáveis de saída do modelo, como no caso do total produzido.

Por fim, é importante frisar que a dificuldade em se obter os dados do processo que serão utilizados em um projeto de simulação é uma questão relativa. Pois, em alguns casos práticos o acesso do modelador aos tempos operacionais, pode ser facilitado por sistemas de apontamento automático.

7.2. Sugestão para Trabalhos Futuros

Abaixo segue algumas sugestões:

- analisar a variação do ritmo de trabalho ao longo dos dias do mês,
- utilização de outras técnicas de validação, como as apontadas no trabalho de Leal *et al.* (2011),
- analisar a variação do ritmo do trabalho humano decorrente da ansiedade gerada pela proximidade do cronometrista. Neste caso poderia ser comparado os resultados de uma cronometragem feita de forma tradicional e por câmeras.

Referências bibliográficas

ANKENMAN, B.E.; NELSON, B.L. A quick assessment of input uncertainty. Proceedings of the Winter Simulation Conference, Berlin, Germany, 2012.

BAINES, T. S.; KAY, J. M. Human performance modelling as an aid in the process of manufacturing system design: a pilot study. *Int. J. Prod. Res.* 40 (10), p. 2321-2334, 2002.

BAINES, T.; MASON, S.; PEER-OLAF, S.; LADBROOK, J. Humans: the missing link in manufacturing simulation? *Simulation Modelling Practice and Theory*, 12, p. 515-526, 2004.

BAINES, T. S.; ASCH, R.; HADFIELD, L.; MASON, J. P; FLETCHER, S.; KAY, J. M. Towards a theoretical framework for human performance modeling within manufacturing systems design. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 13, p.486–504, 2005.

BALCI, O. Verification, validation, and certification of modeling and simulation applications. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, New Orleans, Louisiana, USA, 2003.

BANKS, J., J. S. CARSON, B. L. NELSON, D. M. NICOL. *Discrete-event Simulation*. 4. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2005.

BANKS, J.; CARSON II, J.S.; NELSON, B.L.; NICOL, D.M. *Discrete-event system simulation*. New Jersey: Pearson, p. 622, 2010.

BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C. Modelling and Simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, 22 (2), p. 241-264, 2002.

BLOOMFIELD, R.; MAZHARI, E.; HAWKINS, J.; SON, Y.J. Interoperability of manufacturing applications using the Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) standard information model. *Computer & Industrial Engineering*, 62 (4), p.1065-1079, 2012.

BONNEY, M.; HEAD, M.; RATCHEV, S.; MOUALEK, I. A manufacturing system design framework for computer aided industrial engineering. *Int. J. Prod. Res.* 38 (17), p. 4317–4327, 2000.

BOSIL, J.; GIAGLIS, G.; HLUPIC, V. IDEF diagrams and Petri Nets for Business Process Modelling. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, Orlando, FL, USA, 2000.

BRAILSFORD, S.C. Modeling human behavior – an (id)entity crisis? Proceedings of the Winter Simulation Conference, Savannah, USA, 2014.

CARSON, J. S. Introduction to modeling and simulation. In: Winter simulation conference, Washington, D.C., USA, 2004.

CHWIF, L.; PAUL, R. J.; BARRETTO, M.R.P. Discrete event simulation model reduction: A causal approach. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 14, p. 930–944, 2006.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. São Paulo: Ed. dos Autores, p. 254, 2006.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos, Teoria & publicações*. 3. ed. São Paulo: Ed do autor, 2010.

- DIGIESI, S.; KOCK, A.A.A.; MUMMOLO, G.; ROODA, J. E. The Effect of Dynamic Worker Behavior on Flowtime Performance. *International Journal of Production Economics*, 120 (2), p. 368-377, August, 2009.
- GORE, R.; DIALLO, S. The need for usable formal methods in verification and validation. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Washington, DC, USA, 2013.
- GREASLEY, A. Using business-process simulation within a business-process reengineering approach. *Business Process Management Journal*, 9 (4), p. 408- 420, 2003.
- HACKMAN, J. R.; OLDDHAM, G.R. Motivation through the design of work: test of a theory. *Organizational Behaviour and Human Performance* 16, p. 250–279, 1976.
- HARREL, C.; GHOSH, B.K.; BOWDEN, R.O. *Simulation using ProModel*. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
- HERNANDEZ-MATIAS, J.C.; VIZAN, A.; PEREZ-GARCIA, J.; RIOS, J. N. Integrated modeling framework to support manufacturing system diagnosis for continuous improvement. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, v.24, n.2, p.187-199, 2008.
- HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. *Introduction to operations research*. McGraw-Hill, 2001.
- JUNG, C.F. *Metodologia para pesquisa & desenvolvimento: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos*. Rio de Janeiro/RJ: Axcel Books do Brasil Editora, 2004.
- KLEIJNEN, J.P.C. Theory and Methodology: Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research*, 82, p.145-162, 1995.
- KLEIJNEN, J.P.C. Experimental Design for Sensitivity analysis, optimization, and validation of simulation models. In: BANKS, J. *The Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice*. John Wiley & Sons, Inc., cap 6, 1998.
- LAW, A.M. How to build valid and credible simulation models. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Monterey, CA, USA, 2006.
- LAW, A.M. A tutorial on how to select simulation input probability distributions. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Washington, DC, USA, 2013.
- LAW, A. M. How to build valid and credible simulation models. In: *Winter Simulation Conference*, Austin, TX, USA, 2009.
- LAW, A.M. How to conduct a successful simulation study. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, New Orleans, LA, USA, 2003.
- LEAL, F. Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de mapeamento do processo e simulação computacional. 2003. 224 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2003.
- LEAL, F.; OLIVEIRA, M.L.M. de; ALMEIDA, D.A. de; MONTEVECHI, J.A.B; MARINS, F.A.S.; MATOS, A.J. de M. *Elaboração de modelos conceituais em simulação computacional através de adaptações na técnica IDEF0: uma aplicação prática*. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, PR, 2007.

- LEAL, F.; ALMEIDA, D.A.de; MONTEVECHI, J.A.B. Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. In: Anais do XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, João Pessoa, PB, 2008.
- LEAL, F.; SILVA, R.F.; MONTEVECHI, J.A.B.; ALMEIDA, D.A.; MARINS, F.A.S. A practical guide for operational validation of discrete simulation models. Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2011.
- MA, Z.; ZHANG, W.; MA, W. Extending IDEF1X to model fuzzy data. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13 (4), p. 295–307, 2002.
- MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. Fundamentos de metodologia científica. São Paulo/SP: Editora Atlas, 2003.
- MAYER, R.J.; MENZEL, C.P.; PAINTER, M.K.; WITTE, P.S.; BLINN, T.; PERAKATH, B. Information integration for concurrent engineering (IICE) IDEF3 process description capture method report. Interim Technical Report for period, University Drive East College Station, Texas, 1995.
- MIRANDA, R. C.; COUTINHO, B. F.; RIBEIRO, J. R.; MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F. Avaliação da operação de *setup* em uma célula de manufatura de uma indústria de autopeças através da simulação a eventos discretos. *Revista Gestão Industrial*, 6 (3), p.01-21, 2010.
- MITROFF, I. I.; BETZ, F.; PONDY, L. R.; SAGASTI, F. On managing science in the system age: two schemas for the study of science as a whole system phenomenon. *Interfaces*, 4 (3), p.46-58, 1974.
- MONTEVECHI, J.A.B.; PINHO, A.F. de; LEAL, F.; MARINS, F.A.S. Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, 2007.
- MONTEVECHI, J.A.B.; LEAL, F.; PINHO, A.F. ; COSTA, R.F.S.; OLIVEIRA, M.L.M. de; SILVA, A.L.F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. Winter simulation conference. Baltimore, USA, 2010.
- MUMMOLO, G.; MOSSA, G.; DIGIESI, S. Learning and tiredness phenomena in manual operation performed in lean automated manufacturing systems: a reference model. In: International IMS Intelligent Manufacturing Systems Forum 2004, Cernobbio, CO, Italy, p. 341–346, 2004.
- NELSON, B.L.; SONG, E.; PEGDEN, C.D. Advanced tutorial: input uncertainty quantification. Proceedings of the Winter Simulation Conference, Savannah, USA, 2014.
- O’KANE, J. F.; SPENCELEY, J. R.; TAYLOR, R. Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems. *Journal of Materials Processing Technology*, 107, p.412-424, 2000.
- PAIVA, C. N. A Relevância do Fator Humano na Simulação Computacional. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, 2010.
- PARKER, S.K.; WALL, T.D.; CORDERY, J.L. Future work design research and practice: Towards na elaborated model of work design. *J. Occupat. Organ. Psychol.* 74, p. 413–440, 2001.
- PINHO, A. F. Proposta de um método de otimização de modelos de simulação a eventos discretos. 2008. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, SP, 2008.

RAUNAK, M.; OLSEN, M. Quantifying validation of discrete event simulation models. Proceedings of the Winter Simulation Conference, Savannah, USA, 2014.

REEB, J.E.; LEAVENGOOD, S. Introduction and overview for simulating a manufacturing system. Ext. Serv. EM 8837-E, Oregon State Univ. p.12, 2003.

REILLY, T.; ATKINSON, G.; WATERHOUSE, J. Chronobiology and Physical Performance, in: Garret WE. Kirkendall DT (ed). Exercise and sport science. 1ed. Philadelphia: Willians &Wilkins, p.351-372, 2000.

ROBINSON, S. Simulation Projects: Building the right conceptual model. Industrial Engineering, September 1994.

ROBINSON, S. Conceptual modeling for simulation. Proceedings of the Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, 2013.

RYAN, J.; HEAVEY, C. Process modeling for simulation. Computers in Industry, 57, p. 437–450, 2006.

SANDANAYAKE, Y. G., AND C. F. ODUOZA. Dynamic Simulation For Performance Optimization In Just-in-time-enabled Manufacturing Processes. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 42 (3–4): 372–380, 2009.

SANDANAYAKE, Y. G., C. F. ODUOZA, AND D. G. PROVERBS. A Systematic Modelling and Simulation Approach for JIT Performance Optimization. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 24 (6): 735–74, 2008.

SARGENT, R.G. Verifying and validating simulation models. Proceedings of the Winter Simulation Conference, Savannah, USA, 2014.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. Proceedings of the Winter Simulation Conference Austin, TX, USA, 2009.

SARGENT, R.G. Validation and verification of simulation models. In: Proceedings of the Winter Simulations Conference, Washington, DC, USA, 2004.

SIEBERS, P.O. The Impact of Human Performance Variation on the Accuracy of Manufacturing System Simulation Models. (PhD thesis). Cranfield University, Cranfield, UK, 2004.

SIEBERS, P.O. Worker Performance Modeling in Manufacturing Systems Simulation. Chapter in J-P. Rennard (Eds.) Handbook of Research on Nature. Inspired Computing for Economy and Management. Pennsylvania: Idea Group Publishing, 2006.

SILVA, C.E.S.; SALGADO, E.G.; MELLO, C.H.P.; OLIVEIRA, E.S.; LEAL, F. Integration of computer simulation in design for manufacturing and assembly. International Journal of Production Research, 52 (10), 2851–2866, 2014.

SPENCER, M.B. The influence of irregularity of rest and activity on performance: a model based on time since sleep and time of day. Ergonomics 30 (9), p. 1275–1286, 1987.

SON, Y.J.; KIM, S.; XI, H.; MUNGLE, S. an extended bdi model for human behaviors: decision-making, learning, interactions, and applications. Proceedings of the Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, 2013.

STANSFIELD, T.; MASSEY, R.; JAMISON, D. Simulation Can Improve Reality: Get More from the Future. *Industrial Engineer*, 46 (3): 38-42, 2014.

STIRLING, M.H.; PARSONS, K.C. A model of human water balance. *Journal of Thermal Biology* 25, p. 187– 190, 2000.

STONE, D.L.; EDDY, E.R. A model of individual and organizational factors affecting quality-related outcomes. *J. Qual. Manag.* 1 (1), p. 21–48, 1996.

TORGA, B.L.M. Modelagem, simulação e otimização em sistemas puxados de manufatura. 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2007.

TORIIZUKA, T. Application of performance shaping factor (PSF) for work improvement in industrial plant maintenance tasks. *Int. J. Ind. Ergon.* 28, p. 225–236, 2001.

TSENG, M. M.; QINHAI, M.; SU, C. Mapping Customers' Service Experience for Operations Improvement. *Business Process Management Journal*, 5 (1), p. 50-64, 1999.

VILELA, F. F.; LEAL, F.; NUNES, D. L. Efeito do ritmo de trabalho humano nos dados de saída de um modelo de simulação a eventos discretos. In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2014, Salvador. XLVI SBPO, 2014.*

WANG, Z. Selecting verification and validation techniques for simulation projects: a planning and tailoring strategy. *Proceedings of the Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, 2013.*

WRIGHT, T.P. Factors affecting the cost of airplanes. *Journal of Aeronautical Sciences* 3, p.122–128, 1936.

XIE, W.; NELSON, B.L.; BARTON, R.R. Statistical uncertainty analysis for stochastic simulation with dependent input models. *Proceedings of the Winter Simulation Conference, Savannah, USA, 2014.*

ZHOU, M.; ZHANG, Q.; CHEN, Z. What can be done to automate conceptual simulation modeling? In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference, Monterey, CA, USA, 2006.*

Anexo 01 – Tabela de distribuição de probabilidade

ETAPA	DIA	N	CENÁRIO	DISTRIBUIÇÕES
PTH1	Segunda-feira	60	1	-49.5+L(116, 12.4)
PTH1	Terça-feira	60	1	31.7+L(32.7, 8.85)
PTH1	Quarta-feira	60	1	-43.4+L(109, 8.6)
PTH1	Quinta-feira	60	1	10.+L(57.7, 10.6)
PTH1	Sexta-feira	60	1	3.44e-002+L(68.8, 10.7)
PTH1	Segunda-feira manhã	30	2	-162+L(222, 9.86)
PTH1	Segunda-feira tarde	30	2	N(72.9, 11.1)
PTH1	Terça-feira manhã	30	2	35.4+L(24.3, 6.4)
PTH1	Terça-feira tarde	30	2	U(70., 13.)
PTH1	Quarta-feira manhã	30	2	-1.11+L(65.5, 10.3)
PTH1	Quarta-feira tarde	30	2	59.3+L(8.36, 10.8)
PTH1	Quinta-feira manhã	30	2	39.3+L(24.6, 11.5)
PTH1	Quinta-feira tarde	30	2	N(71.5, 8.54)
PTH1	Sexta-feira manhã	30	2	13.3+L(48.2, 6.92)
PTH1	Sexta-feira tarde	30	2	N(76.2, 8.48)
PTH1	Segunda-feira 1ºperíodo	15	3	N(56.6, 9.83)
PTH1	Segunda-feira 2ºperíodo	15	3	46.7+L(16.2, 10.5)
PTH1	Segunda-feira 3ºperíodo	15	3	N(68.3, 10.1)
PTH1	Segunda-feira 4ºperíodo	15	3	10.2+L(67.4, 10.)
PTH1	Terça-feira 1ºperíodo	15	3	37.4+L(21.2, 6.26)
PTH1	Terça-feira 2ºperíodo	15	3	35.9+L(24.9, 6.42)
PTH1	Terça-feira 3ºperíodo	15	3	56.4+L(11.5, 20.8)
PTH1	Terça-feira 4ºperíodo	15	3	N(72.2, 6.89)
PTH1	Quarta-feira 1ºperíodo	15	3	-13.2+L(73.5, 9.15)
PTH1	Quarta-feira 2ºperíodo	15	3	25.4+L(43.1, 9.7)
PTH1	Quarta-feira 3ºperíodo	15	3	N(71.4, 6.21)
PTH1	Quarta-feira 4ºperíodo	15	3	59.5+L(3.33, 1.54)
PTH1	Quinta-feira 1ºperíodo	15	3	32.7+L(25.9, 7.41)
PTH1	Quinta-feira 2ºperíodo	15	3	52.5+L(17.3, 16.6)
PTH1	Quinta-feira 3ºperíodo	15	3	29.9+L(38.1, 7.51)
PTH1	Quinta-feira 4ºperíodo	15	3	41.7+L(33.4, 8.14)
PTH1	Sexta-feira 1ºperíodo	15	3	40.6+L(19.1, 8.07)
PTH1	Sexta-feira 2ºperíodo	15	3	53.6+L(9.96, 6.87)
PTH1	Sexta-feira 3ºperíodo	15	3	N(72.1, 7.25)
PTH1	Sexta-feira 4ºperíodo	15	3	N(80.3, 7.63)
PTH2	Segunda-feira	60	1	N(56.6, 7.76)
PTH2	Terça-feira	60	1	27.2+L(30.4, 7.8)
PTH2	Quarta-feira	60	1	30.3+L(32.2, 10.2)
PTH2	Quinta-feira	60	1	-1.42+L(64.9, 7.9)
PTH2	Sexta-feira	60	1	37.6+L(26., 5.87)
PTH2	Segunda-feira manhã	30	2	U(53., 12.)
PTH2	Segunda-feira tarde	30	2	30.5+L(30.2, 5.96)

PTH2	Terça-feira manhã	30	2	29.7+L(28.1, 7.81)
PTH2	Terça-feira tarde	30	2	24.9+L(32.5, 7.79)
PTH2	Quarta-feira manhã	30	2	28.6+L(33.2, 7.06)
PTH2	Quarta-feira tarde	30	2	U(64.5, 16.5)
PTH2	Quinta-feira manhã	30	2	N(58.7, 5.65)
PTH2	Quinta-feira tarde	30	2	-151+L(220, 6.72)
PTH2	Sexta-feira manhã	30	2	N(60.1, 3.76)
PTH2	Sexta-feira tarde	30	2	U(67.5, 9.5)
PTH2	Segunda-feira 1ºperíodo	15	3	N(53.5, 7.04)
PTH2	Segunda-feira 2ºperíodo	15	3	U(51., 10.)
PTH2	Segunda-feira 3ºperíodo	15	3	49.4+L(12.3, 5.44)
PTH2	Segunda-feira 4ºperíodo	15	3	31.9+L(28.1, 6.55)
PTH2	Terça-feira 1ºperíodo	15	3	36.6+L(18.9, 6.75)
PTH2	Terça-feira 2ºperíodo	15	3	13.5+L(46.6, 8.12)
PTH2	Terça-feira 3ºperíodo	15	3	43.7+L(14.1, 7.14)
PTH2	Terça-feira 4ºperíodo	15	3	26.5+L(30.5, 8.99)
PTH2	Quarta-feira 1ºperíodo	15	3	N(58.5, 5.77)
PTH2	Quarta-feira 2ºperíodo	15	3	51.4+L(13.8, 7.37)
PTH2	Quarta-feira 3ºperíodo	15	3	60.+L(15., 2.38)
PTH2	Quarta-feira 4ºperíodo	15	3	46.8+L(5.37, 4.51)
PTH2	Quinta-feira 1ºperíodo	15	3	N(57.7, 5.83)
PTH2	Quinta-feira 2ºperíodo	15	3	-113+L(172, 5.29)
PTH2	Quinta-feira 3ºperíodo	15	3	N(65.6, 5.75)
PTH2	Quinta-feira 4ºperíodo	15	3	N(71.1, 6.47)
PTH2	Sexta-feira 1ºperíodo	15	3	N(58.7, 3.07)
PTH2	Sexta-feira 2ºperíodo	15	3	N(61.5, 3.84)
PTH2	Sexta-feira 3ºperíodo	15	3	54.9+L(9.49, 5.13)
PTH2	Sexta-feira 4ºperíodo	15	3	N(70.1, 4.2)
PTH3	Segunda-feira	60	1	-1.16e+003+L(1.21e+003, 5.71)
PTH3	Terça-feira	60	1	N(49., 4.56)
PTH3	Quarta-feira	60	1	27.9+L(23.5, 6.46)
PTH3	Quinta-feira	60	1	-7.41+L(57.6, 5.)
PTH3	Sexta-feira	60	1	3.41+L(51.4, 4.93)
PTH3	Segunda-feira manhã	30	2	N(46.4, 5.15)
PTH3	Segunda-feira tarde	30	2	U(50., 9.)
PTH3	Terça-feira manhã	30	2	N(47.3, 4.66)
PTH3	Terça-feira tarde	30	2	N(50.7, 3.79)
PTH3	Quarta-feira manhã	30	2	N(49.1, 4.46)
PTH3	Quarta-feira tarde	30	2	N(53.8, 7.05)
PTH3	Quinta-feira manhã	30	2	15.+L(36.4, 4.7)
PTH3	Quinta-feira tarde	30	2	0.675+L(48.3, 5.01)
PTH3	Sexta-feira manhã	30	2	-33.6+L(86.3, 4.33)
PTH3	Sexta-feira tarde	30	2	34.4+L(22.5, 4.62)
PTH3	Segunda-feira 1ºperíodo	15	3	N(44.6, 5.)
PTH3	Segunda-feira 2ºperíodo	15	3	-711+L(759, 4.65)
PTH3	Segunda-feira 3ºperíodo	15	3	-708+L(758, 5.74)

PTH3	Segunda-feira 4ºperíodo	15	3	N(51.2, 5.14)
PTH3	Terça-feira 1ºperíodo	15	3	N(47.2, 5.72)
PTH3	Terça-feira 2ºperíodo	15	3	N(47.5, 3.26)
PTH3	Terça-feira 3ºperíodo	15	3	25.8+L(22.6, 3.81)
PTH3	Terça-feira 4ºperíodo	15	3	N(52.9, 2.05)
PTH3	Quarta-feira 1ºperíodo	15	3	N(48.7, 4.52)
PTH3	Quarta-feira 2ºperíodo	15	3	N(49.4, 4.36)
PTH3	Quarta-feira 3ºperíodo	15	3	N(51.2, 5.34)
PTH3	Quarta-feira 4ºperíodo	15	3	N(56.4, 7.57)
PTH3	Quinta-feira 1ºperíodo	15	3	13.1+L(37., 4.89)
PTH3	Quinta-feira 2ºperíodo	15	3	47.1+L(5.74, 5.12)
PTH3	Quinta-feira 3ºperíodo	15	3	31.9+L(18.9, 4.84)
PTH3	Quinta-feira 4ºperíodo	15	3	N(47.3, 4.63)
PTH3	Sexta-feira 1ºperíodo	15	3	-425+L(478, 3.65)
PTH3	Sexta-feira 2ºperíodo	15	3	-11.2+L(64.1, 4.91)
PTH3	Sexta-feira 3ºperíodo	15	3	37.2+L(18.4, 4.4)
PTH3	Sexta-feira 4ºperíodo	15	3	42.6+L(15.7, 4.54)
REVISÃO	Segunda-feira	60	1	N(86.5, 5.16)
REVISÃO	Terça-feira	60	1	N(85.1, 4.45)
REVISÃO	Quarta-feira	60	1	74.1+L(17.5, 12.5)
REVISÃO	Quinta-feira	60	1	62.1+L(22.3, 4.08)
REVISÃO	Sexta-feira	60	1	N(85.8, 3.9)
REVISÃO	Segunda-feira manhã	30	2	-674+L(760, 5.19)
REVISÃO	Segunda-feira tarde	30	2	N(86.5, 5.12)
REVISÃO	Terça-feira manhã	30	2	72.+L(11., 4.04)
REVISÃO	Terça-feira tarde	30	2	N(87.3, 3.99)
REVISÃO	Quarta-feira manhã	30	2	69.5+L(15.8, 5.3)
REVISÃO	Quarta-feira tarde	30	2	U(98., 18.)
REVISÃO	Quinta-feira manhã	30	2	71.1+L(12.9, 4.36)
REVISÃO	Quinta-feira tarde	30	2	N(84.7, 3.78)
REVISÃO	Sexta-feira manhã	30	2	58.1+L(26.2, 3.93)
REVISÃO	Sexta-feira tarde	30	2	N(87.4, 3.19)
REVISÃO	Segunda-feira 1ºperíodo	15	3	N(85.9, 4.72)
REVISÃO	Segunda-feira 2ºperíodo	15	3	U(87.5, 8.5)
REVISÃO	Segunda-feira 3ºperíodo	15	3	N(87.7, 4.61)
REVISÃO	Segunda-feira 4ºperíodo	15	3	U(85., 7.)
REVISÃO	Terça-feira 1ºperíodo	15	3	U(83.5, 5.5)
REVISÃO	Terça-feira 2ºperíodo	15	3	73.4+L(9.46, 4.43)
REVISÃO	Terça-feira 3ºperíodo	15	3	N(85.5, 3.42)
REVISÃO	Terça-feira 4ºperíodo	15	3	N(89.1, 3.7)
REVISÃO	Quarta-feira 1ºperíodo	15	3	74.+L(8.37, 3.93)
REVISÃO	Quarta-feira 2ºperíodo	15	3	-388+L(476, 4.58)
REVISÃO	Quarta-feira 3ºperíodo	15	3	N(103, 10.5)
REVISÃO	Quarta-feira 4ºperíodo	15	3	78.1+L(14.4, 11.8)
REVISÃO	Quinta-feira 1ºperíodo	15	3	76.2+L(6.92, 4.45)
REVISÃO	Quinta-feira 2ºperíodo	15	3	51.6+L(33.2, 4.29)

REVISÃO	Quinta-feira 3ºperíodo	15	3	66.6+L(17.6, 3.46)
REVISÃO	Quinta-feira 4ºperíodo	15	3	N(85.2, 4.07)
REVISÃO	Sexta-feira 1ºperíodo	15	3	-1.12e+003+L(1.2e+003, 3.84)
REVISÃO	Sexta-feira 2ºperíodo	15	3	-392+L(478, 3.79)
REVISÃO	Sexta-feira 3ºperíodo	15	3	46.9+L(39.3, 3.25)
REVISÃO	Sexta-feira 4ºperíodo	15	3	U(88.5, 4.5)
TOUCH-UP	Segunda-feira	60	1	38.2+L(171, 35.3)
TOUCH-UP	Terça-feira	60	1	108+L(99.9, 29.2)
TOUCH-UP	Quarta-feira	60	1	N(228, 44.5)
TOUCH-UP	Quinta-feira	60	1	97.2+L(90.8, 29.7)
TOUCH-UP	Sexta-feira	60	1	-1.78e+003+L(1.99e+003, 31.7)
TOUCH-UP	Segunda-feira manhã	30	2	-45.3+L(227, 18.4)
TOUCH-UP	Segunda-feira tarde	30	2	U(235, 42.5)
TOUCH-UP	Terça-feira manhã	30	2	N(186, 11.9)
TOUCH-UP	Terça-feira tarde	30	2	U(231, 36.)
TOUCH-UP	Quarta-feira manhã	30	2	N(190, 19.9)
TOUCH-UP	Quarta-feira tarde	30	2	222+L(43.4, 24.8)
TOUCH-UP	Quinta-feira manhã	30	2	118+L(60.3, 28.2)
TOUCH-UP	Quinta-feira tarde	30	2	108+L(89.6, 29.)
TOUCH-UP	Sexta-feira manhã	30	2	N(184, 21.7)
TOUCH-UP	Sexta-feira tarde	30	2	N(230, 22.2)
TOUCH-UP	Segunda-feira 1ºperíodo	15	3	-32.+L(211, 20.2)
TOUCH-UP	Segunda-feira 2ºperíodo	15	3	135+L(50.6, 15.8)
TOUCH-UP	Segunda-feira 3ºperíodo	15	3	U(227, 35.)
TOUCH-UP	Segunda-feira 4ºperíodo	15	3	N(245, 24.8)
TOUCH-UP	Terça-feira 1ºperíodo	15	3	N(184, 13.7)
TOUCH-UP	Terça-feira 2ºperíodo	15	3	163+L(24.5, 10.)
TOUCH-UP	Terça-feira 3ºperíodo	15	3	192+L(28.3, 31.8)
TOUCH-UP	Terça-feira 4ºperíodo	15	3	N(243, 10.3)
TOUCH-UP	Quarta-feira 1ºperíodo	15	3	U(193, 38.)
TOUCH-UP	Quarta-feira 2ºperíodo	15	3	177+L(11.5, 18.2)
TOUCH-UP	Quarta-feira 3ºperíodo	15	3	229+L(20.3, 12.1)
TOUCH-UP	Quarta-feira 4ºperíodo	15	3	263+L(17.4, 19.5)
TOUCH-UP	Quinta-feira 1ºperíodo	15	3	108+L(75.3, 30.4)
TOUCH-UP	Quinta-feira 2ºperíodo	15	3	119+L(54.8, 24.)
TOUCH-UP	Quinta-feira 3ºperíodo	15	3	-110+L(288, 15.7)
TOUCH-UP	Quinta-feira 4ºperíodo	15	3	157+L(59.6, 27.6)
TOUCH-UP	Sexta-feira 1ºperíodo	15	3	N(182, 24.7)
TOUCH-UP	Sexta-feira 2ºperíodo	15	3	N(186, 18.)
TOUCH-UP	Sexta-feira 3ºperíodo	15	3	N(219, 20.8)
TOUCH-UP	Sexta-feira 4ºperíodo	15	3	N(240, 18.6)
CQP	Segunda-feira	60	1	9.83+L(64.6, 11.5)
CQP	Terça-feira	60	1	N(83.7, 12.9)
CQP	Quarta-feira	60	1	43.5+L(36.9, 25.7)
CQP	Quinta-feira	60	1	23.2+L(50.9, 9.51)
CQP	Sexta-feira	60	1	41.6+L(38.4, 12.9)

CQP	Segunda-feira manhã	30	2	-112+L(184, 10.2)
CQP	Segunda-feira tarde	30	2	38.2+L(39., 12.3)
CQP	Terça-feira manhã	30	2	N(78.2, 12.9)
CQP	Terça-feira tarde	30	2	-78.3+L(167, 10.3)
CQP	Quarta-feira manhã	30	2	U(67.5, 14.5)
CQP	Quarta-feira tarde	30	2	5.14+L(86.8, 26.1)
CQP	Quinta-feira manhã	30	2	N(72.6, 6.81)
CQP	Quinta-feira tarde	30	2	50.4+L(25.2, 12.3)
CQP	Sexta-feira manhã	30	2	N(73.7, 7.46)
CQP	Sexta-feira tarde	30	2	47.9+L(38.4, 14.8)
CQP	Segunda-feira 1ºperíodo	15	3	N(69.7, 8.98)
CQP	Segunda-feira 2ºperíodo	15	3	-113+L(187, 10.9)
CQP	Segunda-feira 3ºperíodo	15	3	44.5+L(29.5, 12.4)
CQP	Segunda-feira 4ºperíodo	15	3	N(80.5, 11.)
CQP	Terça-feira 1ºperíodo	15	3	N(69.7, 9.73)
CQP	Terça-feira 2ºperíodo	15	3	N(86.7, 9.6)
CQP	Terça-feira 3ºperíodo	15	3	N(83.9, 7.38)
CQP	Terça-feira 4ºperíodo	15	3	N(94.3, 10.1)
CQP	Quarta-feira 1ºperíodo	15	3	N(69.3, 10.5)
CQP	Quarta-feira 2ºperíodo	15	3	U(67.5, 14.5)
CQP	Quarta-feira 3ºperíodo	15	3	43.3+L(33.4, 22.6)
CQP	Quarta-feira 4ºperíodo	15	3	75.3+L(32.1, 22.)
CQP	Quinta-feira 1ºperíodo	15	3	N(70.5, 6.9)
CQP	Quinta-feira 2ºperíodo	15	3	N(74.8, 5.99)
CQP	Quinta-feira 3ºperíodo	15	3	N(68.3, 5.31)
CQP	Quinta-feira 4ºperíodo	15	3	U(82.5, 18.5)
CQP	Sexta-feira 1ºperíodo	15	3	N(73.3, 7.58)
CQP	Sexta-feira 2ºperíodo	15	3	N(74.1, 7.3)
CQP	Sexta-feira 3ºperíodo	15	3	N(75.5, 6.18)
CQP	Sexta-feira 4ºperíodo	15	3	83.2+L(14., 14.8)
FCT	Segunda-feira	60	1	N(39., 3.02)
FCT	Terça-feira	60	1	N(39.6, 3.53)
FCT	Quarta-feira	60	1	N(38.3, 3.7)
FCT	Quinta-feira	60	1	N(37.1, 4.01)
FCT	Sexta-feira	60	1	N(40.5, 2.36)
FCT	Segunda-feira manhã	30	2	N(38.9, 2.86)
FCT	Segunda-feira tarde	30	2	N(39.2, 3.18)
FCT	Terça-feira manhã	30	2	N(39.1, 3.8)
FCT	Terça-feira tarde	30	2	N(40.1, 3.17)
FCT	Quarta-feira manhã	30	2	U(36., 6.)
FCT	Quarta-feira tarde	30	2	24.5+L(16., 2.24)
FCT	Quinta-feira manhã	30	2	U(36., 6.)
FCT	Quinta-feira tarde	30	2	N(38.3, 4.08)
FCT	Sexta-feira manhã	30	2	N(40.5, 2.7)
FCT	Sexta-feira tarde	30	2	N(40.5, 1.96)
FCT	Segunda-feira 1ºperíodo	15	3	N(39.6, 3.03)

FCT	Segunda-feira 2ºperíodo	15	3	N(38.2, 2.48)
FCT	Segunda-feira 3ºperíodo	15	3	N(39.3, 3.36)
FCT	Segunda-feira 4ºperíodo	15	3	N(39.1, 2.99)
FCT	Terça-feira 1ºperíodo	15	3	N(39.3, 4.25)
FCT	Terça-feira 2ºperíodo	15	3	N(38.9, 3.26)
FCT	Terça-feira 3ºperíodo	15	3	N(39.3, 3.63)
FCT	Terça-feira 4ºperíodo	15	3	N(40.8, 2.43)
FCT	Quarta-feira 1ºperíodo	15	3	-724+L(761, 3.2)
FCT	Quarta-feira 2ºperíodo	15	3	30.5+L(4.97, 6.23)
FCT	Quarta-feira 3ºperíodo	15	3	N(39.9, 2.22)
FCT	Quarta-feira 4ºperíodo	15	3	35.6+L(5.56, 2.14)
FCT	Quinta-feira 1ºperíodo	15	3	28.8+L(6.32, 5.12)
FCT	Quinta-feira 2ºperíodo	15	3	-720+L(757, 2.88)
FCT	Quinta-feira 3ºperíodo	15	3	N(37.2, 4.53)
FCT	Quinta-feira 4ºperíodo	15	3	N(39.5, 3.18)
FCT	Sexta-feira 1ºperíodo	15	3	-431+L(472, 2.15)
FCT	Sexta-feira 2ºperíodo	15	3	N(39.6, 2.92)
FCT	Sexta-feira 3ºperíodo	15	3	N(40.1, 1.91)
FCT	Sexta-feira 4ºperíodo	15	3	N(41., 1.9)
ICT	Segunda-feira	60	1	126+L(37.5, 19.2)
ICT	Terça-feira	60	1	136+L(24., 23.2)
ICT	Quarta-feira	60	1	N(171, 19.9)
ICT	Quinta-feira	60	1	75.1+L(91., 22.)
ICT	Sexta-feira	60	1	67.7+L(99.1, 28.8)
ICT	Segunda-feira manhã	30	2	132+L(22.2, 12.3)
ICT	Segunda-feira tarde	30	2	N(173, 16.1)
ICT	Terça-feira manhã	30	2	136+L(17., 16.6)
ICT	Terça-feira tarde	30	2	131+L(34.2, 23.4)
ICT	Quarta-feira manhã	30	2	119+L(41.8, 21.5)
ICT	Quarta-feira tarde	30	2	-1.78e+003+L(1.96e+003, 10.5)
ICT	Quinta-feira manhã	30	2	139+E(16.8)
ICT	Quinta-feira tarde	30	2	N(176, 19.8)
ICT	Sexta-feira manhã	30	2	97.3+L(57.2, 20.2)
ICT	Sexta-feira tarde	30	2	N(179, 28.6)
ICT	Segunda-feira 1ºperíodo	15	3	129+L(26.1, 11.8)
ICT	Segunda-feira 2ºperíodo	15	3	135+L(17.1, 13.7)
ICT	Segunda-feira 3ºperíodo	15	3	129+L(33.9, 15.1)
ICT	Segunda-feira 4ºperíodo	15	3	N(184, 9.94)
ICT	Terça-feira 1ºperíodo	15	3	133+L(22.9, 15.2)
ICT	Terça-feira 2ºperíodo	15	3	139+E(11.4)
ICT	Terça-feira 3ºperíodo	15	3	135+L(17., 12.8)
ICT	Terça-feira 4ºperíodo	15	3	N(177, 17.5)
ICT	Quarta-feira 1ºperíodo	15	3	117+L(46.8, 25.7)
ICT	Quarta-feira 2ºperíodo	15	3	137+L(23.2, 31.9)
ICT	Quarta-feira 3ºperíodo	15	3	169+L(10.5, 7.1)
ICT	Quarta-feira 4ºperíodo	15	3	N(184, 13.1)

ICT	Quinta-feira 1º período	15	3	139+E(13.5)
ICT	Quinta-feira 2º período	15	3	134+L(25.5, 19.9)
ICT	Quinta-feira 3º período	15	3	N(172, 16.8)
ICT	Quinta-feira 4º período	15	3	N(181, 21.5)
ICT	Sexta-feira 1º período	15	3	108+L(47.7, 24.8)
ICT	Sexta-feira 2º período	15	3	-37.4+L(191, 15.1)
ICT	Sexta-feira 3º período	15	3	N(171, 26.1)
ICT	Sexta-feira 4º período	15	3	N(187, 28.9)
CQF	Segunda-feira	60	1	-88.4+L(180, 10.2)
CQF	Terça-feira	60	1	N(93.7, 9.29)
CQF	Quarta-feira	60	1	16.5+L(75.3, 9.87)
CQF	Quinta-feira	60	1	N(93., 7.8)
CQF	Sexta-feira	60	1	-674+L(770, 8.87)
CQF	Segunda-feira manhã	30	2	N(85.8, 7.34)
CQF	Segunda-feira tarde	30	2	-19.8+L(117, 9.15)
CQF	Terça-feira manhã	30	2	N(88.3, 7.79)
CQF	Terça-feira tarde	30	2	81.7+L(17.5, 8.01)
CQF	Quarta-feira manhã	30	2	N(87., 6.71)
CQF	Quarta-feira tarde	30	2	30.4+L(66.2, 10.3)
CQF	Quinta-feira manhã	30	2	N(88.9, 7.02)
CQF	Quinta-feira tarde	30	2	-2.02+L(99.2, 6.2)
CQF	Sexta-feira manhã	30	2	N(89.8, 6.15)
CQF	Sexta-feira tarde	30	2	80.6+L(21.1, 7.27)
CQF	Segunda-feira 1º período	15	3	N(83.6, 7.42)
CQF	Segunda-feira 2º período	15	3	N(88., 6.55)
CQF	Segunda-feira 3º período	15	3	N(92.9, 8.15)
CQF	Segunda-feira 4º período	15	3	U(102, 11.)
CQF	Terça-feira 1º período	15	3	N(86.3, 7.96)
CQF	Terça-feira 2º período	15	3	N(90.3, 7.09)
CQF	Terça-feira 3º período	15	3	83.9+L(10.6, 4.59)
CQF	Terça-feira 4º período	15	3	-658+L(762, 6.68)
CQF	Quarta-feira 1º período	15	3	N(85.7, 7.79)
CQF	Quarta-feira 2º período	15	3	N(88.3, 5.09)
CQF	Quarta-feira 3º período	15	3	41.6+L(52.1, 9.4)
CQF	Quarta-feira 4º período	15	3	U(99.5, 17.5)
CQF	Quinta-feira 1º período	15	3	N(86.4, 8.28)
CQF	Quinta-feira 2º período	15	3	N(91.5, 4.16)
CQF	Quinta-feira 3º período	15	3	-47.7+L(145, 7.55)
CQF	Quinta-feira 4º período	15	3	82.6+L(14.4, 4.67)
CQF	Sexta-feira 1º período	15	3	N(87.8, 6.97)
CQF	Sexta-feira 2º período	15	3	N(91.7, 4.39)
CQF	Sexta-feira 3º período	15	3	U(97., 6.)
CQF	Sexta-feira 4º período	15	3	U(107, 9.5)
EMBALAGEM	Segunda-feira	60	1	N(17.1, 1.13)
EMBALAGEM	Terça-feira	60	1	12.8+L(5.14, 1.48)
EMBALAGEM	Quarta-feira	60	1	11.1+L(7.64, 2.02)

EMBALAGEM	Quinta-feira	60	1	N(17.3, 1.11)
EMBALAGEM	Sexta-feira	60	1	11.4+L(6.33, 1.34)
EMBALAGEM	Segunda-feira manhã	30	2	-735+L(752, 1.05)
EMBALAGEM	Segunda-feira tarde	30	2	N(17.6, 0.948)
EMBALAGEM	Terça-feira manhã	30	2	-1.18e+003+L(1.2e+003, 1.34)
EMBALAGEM	Terça-feira tarde	30	2	13.2+L(4.48, 1.61)
EMBALAGEM	Quarta-feira manhã	30	2	9.19+L(8.91, 1.8)
EMBALAGEM	Quarta-feira tarde	30	2	16.4+L(3.01, 2.8)
EMBALAGEM	Quinta-feira manhã	30	2	N(17.2, 1.3)
EMBALAGEM	Quinta-feira tarde	30	2	4.25+L(13.1, 0.876)
EMBALAGEM	Sexta-feira manhã	30	2	N(17.4, 1.08)
EMBALAGEM	Sexta-feira tarde	30	2	15.+L(3.14, 1.53)
EMBALAGEM	Segunda-feira 1ºperíodo	15	3	-735+L(752, 1.14)
EMBALAGEM	Segunda-feira 2ºperíodo	15	3	-453+L(470, 0.909)
EMBALAGEM	Segunda-feira 3ºperíodo	15	3	N(17.9, 0.772)
EMBALAGEM	Segunda-feira 4ºperíodo	15	3	N(17.3, 1.01)
EMBALAGEM	Terça-feira 1ºperíodo	15	3	N(18., 1.03)
EMBALAGEM	Terça-feira 2ºperíodo	15	3	16.6+L(1.99, 1.77)
EMBALAGEM	Terça-feira 3ºperíodo	15	3	-453+L(470, 1.11)
EMBALAGEM	Terça-feira 4ºperíodo	15	3	14.9+L(3.29, 2.14)
EMBALAGEM	Quarta-feira 1ºperíodo	15	3	N(17.6, 1.58)
EMBALAGEM	Quarta-feira 2ºperíodo	15	3	14.7+L(3.88, 1.98)
EMBALAGEM	Quarta-feira 3ºperíodo	15	3	17.+E(1.47)
EMBALAGEM	Quarta-feira 4ºperíodo	15	3	13.8+L(6.39, 2.25)
EMBALAGEM	Quinta-feira 1ºperíodo	15	3	N(16.7, 1.4)
EMBALAGEM	Quinta-feira 2ºperíodo	15	3	-0.664+L(18.4, 0.93)
EMBALAGEM	Quinta-feira 3ºperíodo	15	3	4.09+L(13.2, 0.855)
EMBALAGEM	Quinta-feira 4ºperíodo	15	3	2.65+L(14.8, 0.885)
EMBALAGEM	Sexta-feira 1ºperíodo	15	3	N(17.9, 0.854)
EMBALAGEM	Sexta-feira 2ºperíodo	15	3	N(16.9, 1.02)
EMBALAGEM	Sexta-feira 3ºperíodo	15	3	-0.664+L(18.4, 0.93)
EMBALAGEM	Sexta-feira 4ºperíodo	15	3	15.1+L(3.36, 2.02)
PTH1	Semana inteira	30	4	38.3+L(25.2, 8.95)
PTH2	Semana inteira	30	4	-130+L(189, 8.64)
PTH3	Semana inteira	30	4	31.3+L(19.5, 5.91)
REVISÃO	Semana inteira	30	4	78.3+L(8.15, 6.88)
TOUCH-UP	Semana inteira	30	4	154+L(54., 35.2)
CQP	Semana inteira	30	4	35.6+L(44.4, 17.1)
FCT	Semana inteira	30	4	N(38.9, 3.63)
ICT	Semana inteira	30	4	N(166, 21.1)
CQF	Semana inteira	30	4	-1.14e+003+L(1.23e+003, 10.)
EMBALAGEM	Semana inteira	30	4	-734+L(752, 0.99)