

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

Mona Liza Moura de Oliveira

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DA TÉCNICA
DE MODELAGEM IDEF-SIM NAS ETAPAS DE
UM PROJETO DE SIMULAÇÃO A EVENTOS
DISCRETOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Engenharia de Produção*

Orientador: Prof. José Arnaldo Barra Montevechi, Dr.

Co-orientador: Prof. Fabiano Leal, Dr.

Novembro de 2010.

Itajubá - MG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Mona Liza Moura de Oliveira

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DA TÉCNICA
DE MODELAGEM IDEF-SIM NAS ETAPAS DE
UM PROJETO DE SIMULAÇÃO A EVENTOS
DISCRETOS**

Banca examinadora:

Prof: Eduardo Saliby, Dr.

Prof: Alexandre Ferreira de Pinho, Dr.

Prof: Fabiano Leal, Dr.

Prof: José Arnaldo Barra Montevechi, Dr.

Itajubá

2010

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pelo amor confiado, pelas oportunidades oferecidas. Por ser minha força e consolo nos momentos difíceis e minha luz nos momentos de indecisão.

Agradeço ainda a uma extensão de Deus na minha vida, a minha família. Ao meu pai Dário e a minha mãe Miriam, meus primeiros mestres e amores que sempre me apoiaram e me orientaram com muito amor e carinho. E ainda aos meus irmãos Monica, Marcelo e Marcela, meus melhores amigos que compartilharam não só este, mas todos os momentos especiais que vivi até hoje. Agradeço também ao meu namorado Lucas, por já fazer diferença na minha vida, pelo apoio, pelo consolo e principalmente pelo carinho.

Agradeço também a todos os meus amigos, em especial a aqueles que participaram diretamente deste período de aprendizagem, tanto pelo apoio sempre oferecido quanto pelos momentos de descontração tão necessários.

Não poderia deixar de agradecer aos meus orientadores Prof. José Arnaldo e Fabiano Leal, pelo apoio, orientação, paciência, confiança e ainda pela amizade, pois foram mais do que mestres, se tornaram grandes amigos. E a todos os professores da UNIFEI, em especial aos do grupo NEAAD, que ao compartilharem seus conhecimentos contribuíram para minha formação acadêmica, pessoal e profissional.

Gostaria de agradecer ainda a todos da empresa Padtec que participaram deste projeto, pela atenção e confiança dedicada. Aos estagiários Tiago Leal e Nathália Silvestre pela grande ajuda no desenvolvimento desta dissertação. E ainda aos órgãos Capes e Fapemig pelo financiamento e apoio deste trabalho.

EPÍGRAFE

“A mente que se abre a uma nova idéia
jamais volta ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

Cada vez mais as empresas têm dedicado esforços em melhor compreender o funcionamento de seus próprios processos para assim ter uma base mais sólida para futuras tomadas de decisão e ainda visualizar como seu sistema irá reagir frente a possíveis mudanças. Mapear estes processos tem sido uma das estratégias adotadas pelas organizações, entretanto, modelos de simulação podem apresentar maiores benefícios quando se deseja conhecer o dinamismo destes sistemas e ainda analisar diversos cenários sem maiores riscos e custos.

Um projeto de simulação pode ser resumido em três etapas principais, as etapas de concepção, implementação e análise. Apesar da grande importância desta primeira etapa de concepção, principalmente por afetar diretamente as demais, por muitas vezes não se dedica a devida atenção a mesma. A utilização de técnicas de modelagem que não oferecem o suporte necessário a projetos de simulação pode desmotivar modeladores no desenvolvimento desta etapa. Neste contexto, uma nova técnica de modelagem conceitual, chamada IDEF-SIM, foi desenvolvida com foco específico em projetos de simulação computacional, facilitando portanto a tradução de modelos conceituais em computacionais.

Diversos trabalhos que fazem uso da referida técnica podem ser encontrados na literatura, entretanto nenhum deles apresenta uma análise de como a técnica se comporta em todas as etapas de um projeto de simulação. A fim de sanar esta lacuna, uma pesquisa-ação foi desenvolvida neste trabalho, para que se atingisse um objetivo prático, de construir um modelo computacional para oferecer a gestores de uma determinada empresa uma base para futuras tomadas de decisão, e ainda um objetivo do conhecimento, de gerar uma maior compreensão da técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM, analisando-se a aplicabilidade da mesma em todas as etapas do projeto de simulação desenvolvido.

Conclui-se com este trabalho que a técnica IDEF-SIM se mostra aplicável na etapa de concepção, coletando e documentando de forma detalhada informações importantes do processo, na etapa de implementação, facilitando a conversão do modelo conceitual em computacional e ainda sendo um forte auxílio no processo de verificação do modelo e validação com especialistas, e por fim, na etapa de análise, promovendo a comunicação entre modeladores e gestores na apresentação de mudanças propostas do sistema em questão, além de facilitar a construção dos modelos computacionais dos cenários, reduzindo tempos e esforços dedicados a este processo.

Palavras-chave: Modelagem conceitual, IDEF-SIM, Simulação.

ABSTRACT

Companies have increasingly focused on better understanding the functioning of their own processes to have a stronger basis for future decision making and even preview how their systems will react to possible changes. Mapping these processes has been one of the strategies adopted by such organizations, however simulation models can provide even greater benefits when a better understanding of the systems' dynamics is desired and can also provide examinations of various scenarios without major risks and costs.

A simulation project can be summarized in three main stages: conception, implementation and analysis. Although the first stage, conception, exercises great influence over the two subsequent stages of the simulation process, it is frequently not given enough attention. The use of modeling techniques that do not offer the necessary support to simulation projects can discourage modelers in the development of this step. In this context, a new modeling technique, IDEF-SIM, was developed with specific focus on computer simulation projects, thereby facilitating the translation of conceptual models into computational model. Several studies that make use of this technique can be found in the literature, however none of them present an analysis of how the technique behaves in all stages of a simulation project. To address this shortcoming, an action research was developed in this work in order that a practical objective of building a computer model to offer a certain company's managers a basis for future decision making was achieved, and still a knowledge objective of generating greater understanding of the modeling technique IDEF-SIM, analyzing its applicability in all stages of the developed simulation project.

Through this work it can be concluded that the IDEF-SIM technique is applicable in the stage of conception, collecting and documenting in detail important information of the process in the implementation phase, facilitating the conversion of the conceptual model into the computational model and still being a strong support in the process of model verification and validation with experts and finally, in the analysis stage, fostering communication between modelers and managers in the presentation of proposed changes of the system in question, and facilitating the construction of computational models of the scenarios, saving time and efforts devoted to this process.

Keywords: Conceptual modeling, IDEF-SIM, Simulation

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1– Modelo final de um projeto de modelagem de processos de sucesso	24
Figura 2.2 – Símbolos utilizados na técnica de fluxograma	27
Figura 2.3 – Principais elementos componentes do SIPOC.....	29
Figura 2.4- Símbolos utilizados no IDEF0	32
Figura 2.5 – Exemplo de um modelo de processo em IDEF0.....	33
Figura 2.6 – Exemplo de um modelo em IDEF3.....	37
Figura 3.1- Fluxograma de um estudo completo de simulação computacional	50
Figura 4.1- Modelo Conceitual em um projeto de simulação	68
Figura 4.2 – Etapa de concepção de um projeto de simulação.....	70
Figura 4.3 – Transição do estado das entidades segundo a técnica do ACD.	78
Figura 4.4– Estrutura de um modelo SAD	79
Figura 4.5– Exemplo de aplicação da técnica IDEF-SIM	82
Figura 4.6 – Representação visual do sistema hipotético de manufatura a ser modelado	83
Figura 4.7 – Modelo conceitual do sistema hipotético em IDEF-SIM.	84
Figura 4.8– Informações geradas e requeridas em uma modelagem conceitual	85
Figura 5.1– Etapa de planejamento da Pesquisa-ação	92
Figura 5.2 – Ciclo da Pesquisa ação	93
Figura 5.3 – Ciclos da Pesquisa ação.....	96
Figura 5.4 – Meta-passo da pesquisa-ação.....	96
Figura 5.5 – Ciclos de pesquisa ação associados às etapas de um projeto de simulação	100
Figura 5.6 – Monitoração da técnica IDEF-SIM em todas as etapas do ciclo	100
Figura 6.1– Ciclo 1: Etapa de Concepção.....	104
Figura 6.2– Foto da Célula de Controle de Qualidade da Padtec.....	105
Figura 6.3– Esquema de distribuição das famílias entre operadores.....	105

Figura 6.4– SIPOC da célula de controle de qualidade	106
Figura 6.5– Fluxograma da célula de controle de qualidade.....	107
Figura 6.6 – Modelo conceitual em IDEF-SIM de célula de controle de qualidade	109
Figura 6.7–Modelo conceitual em IDEF-SIM simplificado	112
Figura 6.8 – Foto do modelo em IDEF-SIM na célula	113
Figura 6.9 – Ciclo 2 : Etapa de Implementação	115
Figura 6.10 – Modelagem dos dados cronometrados da Família PSUPPLY.....	116
Figura 6.11– Gráfico da porcentagem de peças testadas por operador.....	116
Figura 6.12 – Gráfico dos tipos de produtos testados no ano de 2009	117
Figura 6.13 – Trecho 1 do modelo conceitual convertido em computacional	119
Figura 6.14 – Trecho 2 do modelo conceitual convertido em computacional	120
Figura 6.15 – Trecho 3 do modelo conceitual convertido em computacional	121
Figura 6.16 – Trecho 4 do modelo conceitual convertido em computacional	121
Figura 6.17 – Sinalizadores e contadores utilizados na verificação	123
Figura 6.18 – Tela do modelo computacional da célula de controle de qualidade.....	123
Figura 6.19 – Teste de normalidade para Dados Reais e Simulados.....	125
Figura 6.20 – Teste de igualdade de variâncias.....	126
Figura 6.22 – Ciclo 3: Etapa de análise	128
Figura 6.23 – Gráfico de utilização dos operadores da célula no ano de 2009.....	129
Figura 6.24 – Gráfico de utilização dos operadores da célula no ano de 2010.....	129
Figura 6.25 – Gráfico da diferença percentual de peças testadas entre os anos de 2009 e 2010	130
Figura 6.26 – Modelo conceitual do Cenário Capacidade	132
Figura 6.27 – Modelo conceitual do Cenário Automação	133
Figura 6.28 – Modelo conceitual do Cenário Estufa	134
Figura 6.29 – Modelo conceitual do cenário coringa parte 1.....	135

Figura 6.30 – Modelo conceitual do cenário coringa parte 2.....	135
Figura 6.31– Modelo conceitual do Cenário Dois operadores.....	136
Figura 6.32– Modelo Conceitual do Cenário Reporte.....	137
Figura 6.33 – Modelo conceitual do Cenário Hora extra.....	138
Figura 6.34 – Modelo conceitual do cenário Duplicar Operador 1.....	139
Figura 6.35 – Modelo conceitual do cenário Duplicar operador 2.....	140
Figura 6.36 – Modelo conceitual do cenário Duplicar operador 3.....	141
Figura 6.37 – Modelo conceitual do cenário Duplicar todos os operadores.....	142
Figura 6.38 – Trecho do modelo conceitual do cenário “dois operadores” convertido em modelo computacional.....	143
Figura 6.39 – Trecho do modelo conceitual de cenário “Hora extra” convertido em modelo computacional.....	144
Figura 6.40 – Trecho do modelo conceitual do cenário “Duplicar operador1” convertido em computacional.....	145
Figura 6.41– Trecho do modelo conceitual do cenário “Estufa” convertido em modelo computacional.....	145
Figura 6.42 – Gráfico das diferenças percentuais dos cenários com relação ao cenário capacidade.....	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1– Métodos que compõem a família IDEF	30
Tabela 2.2 – Simbologia utilizada na técnica IDEF3	37
Tabela 2.3 – Diferenças entre as técnicas IDEF0 e IDEF3.....	38
Tabela 2.4 – Características das técnicas IDEF0 e IDEF3.....	38
Tabela 3.1– Principais softwares de simulação.....	57
Tabela 4.1– Vantagens e desvantagens de determinadas técnicas de construção de modelos conceituais	75
Tabela 4.2 – Simbologia e estado das entidades utilizadas no exemplo dos filósofos.....	77
Tabela 4.3– Palavras chaves usadas na linguagem de descrição do SAD	79
Tabela 4.4 – Elementos utilizados na técnica IDEF-SIM.....	81
Tabela 4.5 – Entidades e funções presentes na Figura 4.7.....	84
Tabela 5.1– Diferença entre pesquisa quantitativa e qualitativa	98
Tabela 6.1– Taxa de reprovação nas principais atividades do CQ.....	117
Tabela 6.3 – Dados gerados pelos modelos computacionais de 2009 e 2010.....	129
Tabela 6.4 – Resultados gerados pelos modelos computacionais dos cenários	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACD: *Activity Cycle Diagram*

BPM: *Business Process Management*

BPR: *Business Process Reengineering*

CBU: *Customer Behavior Unit*

CPQD: Centro de Pesquisa e desenvolvimento

CQ: Célula de Controle de qualidade

DFD: Diagrama de Fluxos de Dados

DOE: *Design of Experiments*

IDEF-SIM: *Integrated Definition Methods - Simulation*

ERP: *Enterprise Resource Planning*

FIFO: *First In First Out*

SIPOC: *Supply- Input- Process- Output- Customer*

IBM: *International Business Machines*

IDEF: *Integrated Definition Methods*

PDPM: *Policy-Driven Process Mapping*

SAD: *Simulation Activity Diagrams*

SADT: *Structured Analysis and Design Technique*

UML: *Unified Modeling Language*

UOB: *Unit of Behavior*

7PMG: *Seven Process Modeling Guidelines*

SUMÁRIO

Capítulo 1-Introdução	15
1.1 OBJETIVOS	17
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 PERGUNTAS DA PESQUISA	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
Capítulo 2 - Mapeamento de processos	19
2.1 DEFINIÇÃO DE PROCESSO	19
2.2 MODELAGEM DE PROCESSOS	20
2.3 IMPORTÂNCIA DE SE MAPEAR PROCESSOS	21
2.4 EFICIÊNCIA DE UM PROJETO DE MAPEAMENTO DE PROCESSOS	22
2.5 TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DE PROCESSOS.....	25
2.5.1 Fluxograma	27
2.5.2 SIPOC	28
2.5.3 IDEF	29
2.5.4 IDEF0.....	31
2.5.5 IDEF3.....	35
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
Capítulo 3 - Simulação Computacional	40
3.1 DEFINIÇÃO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	40
3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO.....	41
3.3 ÁREAS DE APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO	44
3.3.1 Simulação em setores públicos	45
3.3.2 Simulação em logística	46
3.3.3 Simulação no setor de saúde	46
3.3.4 Simulação e Lean	47
3.3.5 Simulação no Ensino na Engenharia	48
3.4 ESTRUTURA DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO	49
3.4.1 Etapa de Concepção.....	51
3.4.2 Etapa de Implementação	53

3.4.3	Etapa de análise	62
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
Capítulo 4	Modelagem Conceitual	66
4.1	DEFINIÇÃO DE MODELAGEM CONCEITUAL	67
4.2	IMPORTÂNCIA DE SE MODELAR PROCESSOS	68
4.3	METODOLOGIA DA ETAPA DE MODELAGEM CONCEITUAL	70
4.3.1	Construção do modelo conceitual	70
4.3.2	Validação do modelo conceitual	72
4.3.3	Documentação do modelo conceitual	72
4.4	EFICIÊNCIA DA ETAPA DE MODELAGEM CONCEITUAL	73
4.5	TÉCNICAS DE REPRESENTAÇÃO DE MODELOS CONCEITUAIS	74
4.5.1	Activity Cicle Diagram - ACD	76
4.5.2	Simulation Activity Diagrams - SAD	78
4.5.3	IDEF-SIM	80
4.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
Capítulo 5	Método de Pesquisa: Pesquisa-ação	90
5.1	DEFINIÇÃO DO MÉTODO	90
5.2	ESTRUTURA DA PESQUISA-AÇÃO	91
5.2.1	Pré-passo:	92
5.2.2	Passos principais	93
5.2.3	Meta-passo: monitoração	96
5.3	VALIDADE DA PESQUISA-AÇÃO	97
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
Capítulo 6	Aplicação do Método de Pesquisa	101
6.1	PRÉ-PASSO	102
6.2	CICLO 1: ETAPA DE CONCEPÇÃO	103
6.2.1	Coleta de dados	104
6.2.2	Realimentação dos dados	107
6.2.3	Análise dos dados	108
6.2.4	Planejamento da ação	108
6.2.5	Implementação	109
6.2.6	Avaliação	111

6.3	META-PASSO: MONITORAÇÃO DO IDEF-SIM NO CICLO 1	113
6.4	CICLO 2: ETAPA DE IMPLEMENTAÇÃO	114
6.4.1	Coleta de dados	115
6.4.2	Realimentação dos dados	116
6.4.3	Análise dos dados	117
6.4.4	Planejamento da ação	118
6.4.5	Implementação	118
6.4.6	Avaliação	123
6.5	META-PASSO: MONITORAÇÃO DO IDEF-SIM NO CICLO 2	126
6.6	CICLO 3: ETAPA DE ANÁLISE	127
6.6.1	Coleta de Dados.....	128
6.6.2	Realimentação dos dados	128
6.6.3	Análise dos dados	130
6.6.4	Planejamento da ação	131
6.6.5	Implementação	142
6.6.6	Avaliação	146
6.7	META- PASSO: MONITORAÇÃO DO IDEF-SIM NO CICLO 3	148
7.	Conclusão	150
	ANEXO A	154
	Referências Bibliográficas	155

CAPÍTULO 1-INTRODUÇÃO

Razões como a crescente globalização, a acelerada evolução dos meios de comunicação, a universalização da informação e a diminuição do ciclo de vida dos produtos têm levado as empresas a focarem seus recursos em estratégias que possibilitem a sobrevivência em um mercado cada vez mais competitivo.

Diversas estratégias têm sido traçadas pelas organizações a fim de que as mesmas se mantenham competitivas neste mercado conturbado. Uma destas estratégias está relacionada a uma maior compreensão do funcionamento dos próprios processos por parte destas organizações. Conhecendo seus processos, a empresa tem uma base mais sólida para futuras tomadas de decisão, e consegue ainda visualizar como seu sistema irá reagir a mudanças, como por exemplo, oscilações na demanda, redução ou aumento da mão de obra, automatização do processo, entre outras tantas possíveis.

De acordo Lopes (2002) as organizações têm descoberto nas últimas décadas que a capacidade de gerar e utilizar conhecimento dentro da organização é elemento básico capaz de criar competências, proporcionando assim diferenciais competitivos e crescimento econômico. Muitas organizações, a fim de conhecer e gerenciar de uma melhor forma os seus processos, têm sido motivadas a fazer investimentos substanciais em iniciativas de modelar seus processos. Esta situação por sua vez tem desencadeado significantes trabalhos acadêmicos e comerciais com o objetivo de encontrar soluções para modelagem dos processos (ROSEMANN *et al.*, 2010).

Barber *et al.* (2003) acreditam que tanto a modelagem de processos (BPM-*Business Process Modelling*) quanto a simulação (BPS-*Business Process Simulation*) tem auxiliado a empresas a compreenderem melhor seus processos. Ainda segundo os autores, apesar da modelagem de processos proporcionar uma abordagem estática e estruturada para a gestão de melhoria de processos, oferecendo uma perspectiva holística do funcionamento da empresa e uma forma de documentação dos processos, é a simulação quem permite estudar as dinâmicas de um processo e ainda considerar os efeitos de mudanças sem riscos, fornecendo sempre informações mais ricas.

A simulação computacional tem se tornado uma ferramenta bastante conhecida e utilizada nesta tentativa das empresas em conhecer melhor seus processos. Os sistemas reais geralmente apresentam uma maior complexidade devido a sua natureza dinâmica e aleatória e modelos de simulação conseguem capturar com mais fidelidade essas características,

procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições de contorno. O modelo de simulação é utilizado, particularmente, como uma ferramenta para se obter respostas a sentenças do tipo: “o que ocorre se...”. (CHWIF e MEDINA, 2006)

Neste contexto, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos envolvendo o uso de simulação para solucionar problemas enfrentados pelas organizações como, por exemplo, Mahfouz, Hassan e Arisha (2010), Montevechi *et al.*(2009), Costa *et al.*(2009), Kumar e Phrommathed (2006), Sandanayake, Oduoza e Proverbs (2008), entre outros.

De acordo com Chwif (1999), existem três fases principais para a condução de um projeto de simulação: a concepção, a implementação e a análise dos resultados. Na primeira fase, o analista de simulação deve entender claramente o sistema a ser simulado, para enfim transformar o modelo abstrato (na mente do analista) em modelo conceitual, através de uma técnica apropriada de representação de modelo.

Entretanto, Ryan e Heavey (2006) alegam que poucas técnicas de modelagem de processos utilizadas no BPM fornecem o suporte necessário a um projeto de simulação. Visando sanar esta carência, os autores Leal, Almeida e Montevechi (2008) desenvolveram uma técnica de modelagem conceitual, com foco na construção de modelos computacionais, chamada IDEF-SIM.

Existem na literatura exemplos de aplicações e análises do uso desta técnica (LEAL, ALMEIDA, MONTEVECHI, 2008; LEAL *et al.*, 2009; NUNES , 2010; COSTA *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*,2010; MONTEVECHI *et al.*,2010). Porém, a análise da aplicabilidade da técnica nestes trabalhos está restrita somente a uma etapa de um projeto de simulação, a etapa chamada de implementação. Contudo, surge a dúvida: a técnica se mostraria aplicável em todas as etapas de um projeto de simulação a eventos discretos, ou seja, nas etapas de concepção, implementação e análise? Buscar-se á com esta dissertação sanar esta dúvida e gerar conhecimento sobre a técnica.

O método de pesquisa escolhido para o desenvolvimento deste trabalho é o método de Pesquisa-ação, uma vez que este visa solucionar um problema e ainda gerar conhecimento sobre a solução encontrada, objetivo totalmente condizente com o que se pretende realizar nesta dissertação.

1.1 Objetivos

O objetivo de uma pesquisa-ação, método de pesquisa escolhido e melhor explicado no capítulo 3 desta dissertação, pode ser dividido em dois tipos: o objetivo prático e o objetivo do conhecimento. Dentro deste contexto, o objetivo desta dissertação segue a mesma divisão, como pode ser visto a seguir:

- a. Objetivo prático: Desenvolver um projeto de simulação para que os gestores da empresa escolhida tenham um maior conhecimento sobre seu processo, bem como conhecer suas reações frente a possíveis mudanças.
- b. Objetivo do conhecimento: Analisar a aplicabilidade de uma nova técnica de modelagem, chamada IDEF-SIM, em todas as etapas de um projeto de simulação computacional a eventos discretos.

1.2 Justificativa

A simulação tem se tornado umas das técnicas mais populares para analisar ambientes complexos de manufatura (BANKS *et al.*, 2005). Aproveitando-se das vantagens oferecidas por um projeto de simulação, um modelo computacional de uma das células da empresa em estudo será desenvolvido, para que esta alcance um maior conhecimento de seus processos e assim tenha uma base para análises futuras. O desenvolvimento deste projeto de simulação busca alcançar o objetivo intitulado objetivo prático, vinculado a ação da pesquisa ação.

O projeto de simulação computacional pode ser dividido em três etapas principais: a concepção, a implementação e a análise. Para Wang e Brooks (2007) de todas as tarefas envolvidas em um projeto de simulação, a modelagem conceitual, presente na etapa de concepção, é a provavelmente a que recebe menos atenção e conseqüentemente a menos compreendida.

De acordo com Robinson (2006) a construção de um modelo conceitual impacta em todos os aspectos de um estudo de simulação, principalmente na coleta de dados, velocidade com que o modelo vai ser desenvolvido, validação do modelo, velocidade da experimentação e confiança nos resultados. Portanto, é de extrema importância escolher uma técnica de modelagem conceitual que forneça o suporte necessário a um projeto de simulação.

Diversos trabalhos tem se preocupado em analisar o uso de técnicas de modelagem já presentes na literatura para construção de modelos conceituais. Com a técnica IDEF-SIM não tem sido diferente, entretanto nenhum trabalho ainda foi feito para saber se esta técnica é aplicável em todas as etapas de um projeto de simulação. A fim de sanar esta lacuna é que o

segundo objetivo, intitulado de objetivo do conhecimento, foi traçado, visando assim gerar conhecimento científico sobre o uso da nova técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM. Esta análise da técnica em todas as etapas de um projeto de simulação está relacionada à pesquisa da pesquisa ação.

1.3 Perguntas da pesquisa

As perguntas a serem respondidas no decorrer do trabalho encontram-se a seguir:

1. De que forma o projeto de simulação desenvolvido na empresa possibilita que esta tenha um conhecimento maior de seus processos?
2. A técnica IDEF-SIM se mostra aplicável na etapa de concepção de um projeto de simulação computacional a eventos discretos?
3. A técnica IDEF-SIM se mostra aplicável na etapa de implementação de um projeto de simulação computacional a eventos discretos?
4. A técnica IDEF-SIM se mostra aplicável na etapa de análise de um projeto de simulação computacional a eventos discretos?

1.4 Estrutura do Trabalho

Após a presente introdução, uma revisão bibliográfica será apresentada, a fim de ilustrar os temas: Mapeamento de processos, Simulação e Modelagem conceitual. Em seguida, serão apresentados tópicos sobre o método de pesquisa escolhido para o desenvolvimento deste trabalho, a pesquisa-ação. No capítulo seguinte, tem-se a ilustração de como este método foi aplicado para se atingir os objetivos da pesquisa. Por fim, tem-se a conclusão desta dissertação, seguida pelo relato dos trabalhos publicados pela autora e pelas referências dos autores citados no decorrer do trabalho.

Capítulo 2 - Mapeamento de processos

Mapear processos tem se tornado uma importante estratégia adotada por empresas, para que estas possam desenvolver um maior conhecimento de seus sistemas e assim ter uma melhor base de análise para tomadas de decisão. De acordo com Madison (2005) o mapeamento de processos tem sido adotado em companhias como uma técnica efetiva para permitir as organizações a enxergar seus sistemas de negócios graficamente em qualquer nível de detalhe e complexidade.

O objetivo deste capítulo, portanto, é apresentar uma definição de processo e modelagem de processos segundo alguns autores e ilustrar como o ambiente empresarial tem desenvolvido uma mentalidade focada em processos, buscando compreender melhor o funcionamento destes processos através da modelagem. Pretende-se ainda apresentar alguns guias e modelos encontrados na literatura para que se tenha um mapeamento de processo de sucesso.

O capítulo traz também definição e exemplos de aplicação das técnicas de mapeamento de processo fluxograma, SIPOC, por estas terem sido utilizadas no desenvolvimento do trabalho, e ainda as técnicas IDEF0 e IDEF3, por estas terem servido de base para a construção da nova técnica de modelagem a ser analisada nesta dissertação, a técnica IDEF-SIM.

2.1 Definição de Processo

Processo é um grupo de tarefas interligadas logicamente, que utiliza os recursos da organização para gerar os resultados definidos, de forma a apoiar os seus objetivos (HARRINGTON, 1993). Já Davenport (1994) define processo como uma ordenação específica das atividades de trabalho no tempo e no espaço, com um começo, um fim, *inputs* e *outputs* claramente identificados, sendo assim uma estrutura para ação.

Segundo Gingele, Childe e Miles (2002), processo é um conjunto estruturado de atividades e fluxos que utilizam os recursos necessários para fornecer um resultado específico para um determinado cliente. Sendo que, para Tsironis, Gentsos e Moustakis (2008), a atividade em um processo é uma combinação de componentes como tarefas, informações, material, operadores e máquinas.

Processo para Laguna e Marland (2005) é uma rede de atividades através da qual unidades de fluxo devem passar para serem transformadas de entradas em saídas. Os autores Muehlen Zur e Induslka (2009) definem processo como conjunto de atividades ordenadas logicamente que produzem um resultado de valor para o cliente. A modelagem, execução (incluindo

automação) e avaliação deste processo é conhecida como *Business Process Management* (BPM).

De acordo com Madison (2005) um processo pode ser definido de três formas:

- Um grupo de atividades que conduzem a alguma saída ou resultado;
- A forma ou meio pelo qual um trabalho é feito;
- Um mecanismo para criar e entregar um valor para um cliente.

Ainda segundo o autor, os processos são importantes porque além de serem os principais componentes de uma organização, são a causa raiz da grande maioria dos problemas organizacionais e a base de análise para uma organização diagnosticar todo tipo de problema (estrutura, controle, pessoas e processos). O autor afirma ainda que as organizações podem gerenciar seus trabalhos muito mais eficiente e efetivamente se tiver uma mentalidade focada em processos.

2.2 Modelagem de Processos

A modelagem de processos é uma abordagem utilizada para descrever visualmente como a empresa conduz suas operações, definindo e descrevendo seus processos, incluindo atividades, entidades, recursos e a relações entre eles (GILL, 1999). Segundo Laguna e Markland (2005), para se mapear um processo primeiramente é preciso identificar as atividades do processo, em seguida, a ordem em que estas atividades ocorrem precisa ser estabelecida. Deve-se então identificar os recursos necessários para a realização das atividades, como por exemplo, mão de obra, capital e material. Além disso, informações necessárias para implementação das atividades no processo também precisam ser esclarecidas.

Para Glassey (2008) as técnicas de mapeamento fornecem uma representação da realidade, sendo que esta representação pode ser classificada em três níveis:

- Nível abstrato: descreve funções de um produto, missões de uma organização ou tarefas de um dado trecho de um software.
- Nível organizacional: descreve a estrutura de uma organização e os recursos disponíveis.
- Nível operacional: descreve passo a passo como um produto é fabricado ou como um dado resultado é obtido.

O referido autor ainda destaca a existência de dois tipos de modelos: os descritivos, que representam o estado atual do processo, e os modelos prescritivos, que são usados para mostrar como os processos poderiam ser otimizados, ou seja, como os fluxos de trabalho deveriam ser organizados para alcançar determinadas metas. Para Carvalho, Scott e Jeffery (2005) os modelos descritivos permitem entender o processo existente, comunicar estes processos e analisar as práticas viventes para futuras melhorias.

Segundo Muehlen Zur e Indulska (2009), os modelos de processos são construídos usando gramáticas de modelagem ou linguagens, também chamadas de técnicas ou notações. Estas gramáticas ou linguagens podem ser classificadas de acordo com o foco da modelagem, conforme visto a seguir.

- Centralizadas em atividade: representam os processos como uma rede de tarefas ou atividades que estão ligadas através de conectores de fluxo de dados ou de controles.
- Centralizadas em objeto: especificam os processos como a sequência admissível de mudança de estado de um objeto.
- Centralizadas em recursos: representam os processos como uma rede de postos de processamento que interagem um com os outros.

2.3 Importância de se mapear processos

Segundo Damji (2007) um modelo do processo, que representa uma verdadeira reflexão dos processos de uma empresa, é essencial para realização de melhorias no processo e para o desenvolvimento de sistemas de informações. Estas melhorias tem se tornado uma forma importante de garantir mudanças na estrutura e funcionamento das organizações a fim de criar uma empresa melhor, mais competitiva e de sucesso. Para Muehlen Zur e Indulska (2009) as organizações estão cada vez mais interessadas em entender, gerenciar e melhorar seu portfólio de processos.

Tsironis, Gentsos e Moustakis (2008) destacam que modelos de mapeamento são bastante úteis em todo ciclo de vida de um processo, uma vez que oferecem suporte na sua identificação, descrição, re-projeto e melhoria contínua. Já Glassey (2008) afirma que os métodos e ferramentas do processo de modelagem auxiliam na captura, representação, organização e armazenagem de conhecimento do estado de uma organização.

Para Klotz *et al.*(2008) o mapeamento de processo é usado para deduzir atividades e procedimentos de entidades de negócios em uma forma gráfica, como imagens ilustrativas, que transmitem rapidamente informações consideráveis. Os mapeamentos mostram

tipicamente o que deve ser feito, quem deve fazer, quando e onde isso deve ser feito e quem ou o que depende do que está sendo feito.

Os mesmos autores utilizaram uma metodologia para verificar qual o impacto do mapeamento de processo na transparência no entendimento do processo de uma determinada empresa. Segundo eles, esta transparência é definida pelo grau em que os seguintes elementos estão presentes no mapeamento do processo: reconhecimento dos problemas, responsabilidades e interdependências presentes no processo, facilidade no entendimento e comunicação, e ainda a possibilidade de tomada de decisão.

Para Staccini *et al.* (2005) um melhor entendimento de uma organização e suas medidas de desempenho depende do entendimento de todas as suas atividades. Ao mapear um processo de transfusão de sangue de um hospital, os autores concluíram que a análise dos processos clínicos representados no mapeamento pode auxiliar profissionais da saúde e gerentes a aumentar a satisfação e segurança do paciente.

A modelagem de processos tem ganhado notoriedade na área de sistemas de informação, uma vez que esta modelagem é um dos pontos chaves na obtenção de modelos de qualidade a serem usados como base para a criação de sistemas de informação que suportam apropriadamente as atividades da empresa (ORTIZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2007).

A mentalidade de gerenciar projetos tem revolucionado a forma com que as organizações tem conduzido seus negócios (INDULSKA *et al.*, 2006). Rosemann *et al.* (2010) destacam o aumento do número de organizações que tem se preocupado em compreender seus processos. Segundo os autores, devido a uma grande demanda por uma abordagem mais disciplinada do gerenciamento de processos de negócios, muitas organizações têm sido motivadas a fazer investimentos substanciais em iniciativas de processos de modelagem. Esta situação por sua vez tem desencadeado significantes trabalhos acadêmicos e comerciais com o objetivo de encontrar soluções para o processo de modelagem.

2.4 Eficiência de um projeto de mapeamento de processos

Embora muitos projetos de mapeamento de processos tenham auxiliado com êxito as organizações a alcançarem um maior nível de colaborações funcionais e reduções de custos tangíveis, para Wang, Zhao e Zhang (2009) o mapeamento de processo tradicional tende a ser consumidor de recursos e tempo devido à coleção ambígua e informal de informações do processo.

Já Nurcan *et al.* (2005) afirmam que apesar de a modelagem de processos ser considerada uma pedra angular no auxílio aos gestores em melhorar o desempenho operacional das empresas, esta demonstrou ser insuficiente para ajudar as organizações a enfrentarem o grande desafio de competitividade em um ambiente de constantes mudanças. Isso porque, segundo os autores, a maior parte dos mapeamentos de processo está focada em descrever o desempenho operacional das tarefas, ou seja, quem faz o que e quando, e não as estratégias e metas de uma empresa. Eles criaram um mapa onde estas estratégias, metas e até mesmo resultados pudessem ser descritos.

Wang, Zhao e Zhang (2009) apresentam outra crítica às técnicas existentes de mapeamento. Eles acreditam que ao se mapear um processo, a política deste deve ser estabelecida, uma vez que esta política especifica as condições sob as quais uma tarefa a ser executada está submetida, ampliando o entendimento do funcionamento do processo. Os autores então propõem em seu trabalho uma metodologia chamada PDPM (*Policy-Driven Process Mapping*) para extrair modelos de processo de documentos que contém políticas da empresa, a fim de se ter modelos mais sistemáticos e com menos erros estruturais e semânticos.

Para que um projeto de mapeamento de processos seja um projeto de sucesso, este deve ser efetivo e suficiente. De acordo com Bandara, Gable e Rosemann (2006) um processo de modelagem é considerado efetivo se atender completamente aos seus objetivos. Já para ser considerado eficiente, as atividades de modelagem devem ser completadas com os recursos alocados como tempos, esforços e orçamento.

Os autores Sedera *et al.* (2004) afirmam que embora muitos trabalhos na literatura tenha se preocupado em descrever técnicas de modelagem, poucos tem demonstrado como um modelador deve conduzir um processo de modelagem efetivamente. Os mesmos autores identificaram em um modelo quais os fatores críticos e as medidas de um projeto de modelagem de processos de sucesso. Inicialmente, eles desenvolveram um modelo com fatores e medidas baseado na literatura e este foi apresentado a responsáveis e especialistas em modelagem, a fim de que o mesmo pudesse ser validado e que fatores e medidas não encontrados no modelo pudessem ser então incorporados.

Baseados nas entrevistas realizadas, os autores chegaram a um novo modelo, com algumas modificações em determinados fatores. O fator “Gestão do projeto” foi o mais citado entre os entrevistados, destacando assim a importância que os envolvidos com a modelagem de processos conferem a atividade de definir o escopo, objetivos, marcos e planos de um projeto de modelagem de processos. Já fatores como “Liderança”, “Estrutura do time”, “Competência

do usuário” e “Comunicação” foram removidos do modelo inicial por estarem relacionados com outros fatores. Um novo fator foi acrescentado, “Recursos de informações”, que está relacionado à coleta de dados necessários a construção de um mapeamento de processos.

As variáveis importância (relacionada à acuidade do projeto para empresa) e complexidade (relacionada ao processo a ser mapeado) foram incluídas no modelo. Estas não foram consideradas fatores isolados por não apresentarem tamanho impacto como os demais, mas foram consideradas no modelo por afetarem, por exemplo, na escolha da técnica de mapeamento a ser utilizada. Já com relação às medidas de sucesso de um projeto de modelagem, o item “Satisfação do usuário” foi o menos citado, portanto foi removido do modelo, os demais foram renomeados por estarem já relacionados outros itens descritos e uma nova medida foi incluída por ser considerada de grande importância, a Eficiência do projeto. O modelo final de uma modelagem de processo de sucesso proposto pelos autores encontra-se na figura 2.1.

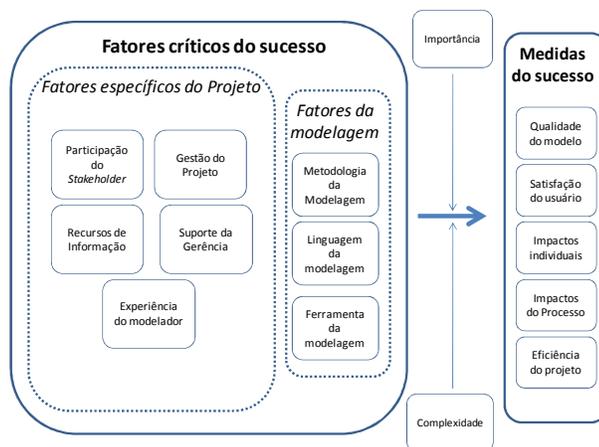


Figura 2.1– Modelo final de um projeto de modelagem de processos de sucesso

Os autores Sedera *et al.* (2004) destacam ainda que o modelo desenvolvido é o primeiro estudo na literatura que identifica empiricamente quais são os fatores e medidas de uma modelagem de processos de sucesso, auxiliando aos modeladores a planejar e conduzir um projeto de modelagem, e ainda a medir eficiência e efetividade deste projeto.

Dentro do contexto de se ter um projeto de modelagem de processos de sucesso, os autores Mendling, Reijers e Van der Aalst (2010) desenvolveram um guia de modelagem chamado 7PMG (*Seven Process Modeling Guidelines*), com o objetivo de auxiliar os modeladores a melhorar a qualidade de seus modelos, tornando estes modelos mais compreensíveis aos *stakeholders* e com menos erros sintáticos.

Através de pesquisas empíricas, os mesmos autores investigaram a conexão entre características estruturais de um modelo e diferentes fatores de compreensão, incluindo o entendimento do modelo do processo, a probabilidade de erros e a ambiguidade da linguagem. Baseados nos resultados das pesquisas eles desenvolveram sete diretrizes do processo de modelagem.

- G1: Usar o menos possível de elementos no modelo, uma vez que um tamanho exagerado do modelo tem efeitos indesejáveis no entendimento e na probabilidade de erros.
- G2: Minimizar o número de caminhos de roteamento por elementos. Quanto maior o número de arcos de entradas e saídas no modelo, mais difícil é o entendimento.
- G3: Usar somente um evento inicial e um final. O número de eventos iniciais ou finais está relacionado positivamente com o aumento de probabilidade de erros. Modelos que satisfazem este requisito são mais fáceis de serem entendidos e permitem melhores análises.
- G4: Construir um modelo tão bem estruturado quanto possível. Modelos estruturados podem ser vistos como fórmulas com ramificações balanceadas. Modelos desestruturados não são somente mais prováveis de incluir erros, como também as pessoas têm dificuldades no entendimento.
- G5: Evitar elementos de roteamento “Ou”. Modelos que têm somente conectores “e” e “e/ou” são menos propensos a erros. Existem algumas ambiguidades nas semânticas da junção “ou” levando a paradoxos e problemas de implementação.
- G6: Nomear as atividades com verbo. As pessoas consideram o objeto verbal menos ambíguo e mais útil do que o não verbal.
- G7: Decompor o modelo se o mesmo tiver mais do que 50 elementos. Esta diretriz está relacionada à primeira que é motivada por uma correlação positiva entre tamanho e erros.

Entretanto, este guia desenvolvido pelos referidos autores não diz o que deve ser inserido no modelo, e sim a forma que este conteúdo deve ser organizado e representado. Também não faz nenhuma relação de qual técnica deve ser utilizada na construção destes modelos.

2.5 Técnicas de mapeamento de processos

Belmiro e Pina (2006) acreditam que a técnica de mapeamento a ser escolhida pela organização deve promover um entendimento global entre áreas externas e internas da

empresa, estabelecer um completo entendimento do processo visando possíveis exercícios de melhoria e simulação, além de fornecer uma documentação concisa, padronizada e exata para processos como ISO 9000, análises de sistema e implementação de ERP (*Enterprise Resource Planning*).

Para Tsironis, Gentsos e Moustakis (2008) a seleção da técnica representa uma meta estratégica para organização, pois esta técnica deve criar uma comunicação efetiva entre as todas as pessoas envolvidas com os processos a serem mapeados e assegurar a qualidade dos resultados da organização.

A escolha da técnica de modelagem a ser utilizada é muitas vezes um dos problemas iniciais do processo de mapeamento. Para Damji (2007) modelagem de processos é uma tarefa complexa e difícil, e usar somente uma técnica na modelagem de processos pode resultar num modelo que não reflete a realidade. Por isso, o autor sugere combinar mais de uma técnica de mapeamento para a criação de um modelo mais fiel a realidade.

Segundo Glassey (2008) técnicas de processo de modelagem são largamente utilizadas tanto em organizações de negócios quanto em acadêmicas, onde pesquisas sobre o gerenciamento destas técnicas têm sido conduzidas por diversos anos. Entretanto, a variedade de técnicas pode ser algo confuso e a escolha de uma técnica adequada para um determinado projeto pode ser uma tarefa difícil. De acordo com Ortiz-Hernández *et al.* (2007) existem poucas diretrizes para selecionar uma técnica apropriada para um determinado domínio de aplicação, sendo assim necessário analisar a qualidade das técnicas do ponto de vista teórico para identificar suas aptidões de modelar um processo.

Para Aguilar-Savén (2004) o processo de seleção de uma técnica de mapeamento de processos tem se tornado cada vez mais complexo, não somente por causa do grande número de abordagens disponíveis, mas também pela falta de um guia que explica e descreve os conceitos envolvidos em muitas técnicas e ferramentas de modelagem. Esta ampla variedade de técnicas de modelagem de processos foi demonstrada em um estudo comparativo desenvolvido por Kettinger, Teng e Guha (1997) que listou aproximadamente 25 metodologias, 72 técnicas e 102 ferramentas.

A seguir serão apresentadas as técnicas Fluxograma, SIPOC, técnicas estas que foram utilizadas no desenvolvimento do trabalho, e ainda as técnicas IDEF0 e IDEF3, por estas terem servido de base para o desenvolvimento da técnica de modelagem IDEF-SIM que será analisada no decorrer desta dissertação.

2.5.1 Fluxograma

O fluxograma é uma representação gráfica formalizada de uma sequência lógica programada de um trabalho, processo de manufatura, ou estrutura em geral (AGUILAR-SAVÉN, 2004). Segundo a autora, o fluxograma apresenta como ponto forte ao usuário a habilidade de comunicação, enquanto que para o modelador os pontos fortes são a flexibilidade da técnica e sua simplicidade. Já Slack, Chambers e Johnston (1997) afirmam que o fluxograma é uma técnica de mapeamento que permite o registro de ações de algum tipo e pontos de tomada de decisão que ocorrem no fluxo real.

Os Fluxogramas são compostos basicamente de caixas que contém uma breve descrição do processo e linhas e setas que mostram a sequência de atividades. O retângulo é a usual escolha para uma caixa do fluxograma, porém outras formas geométricas podem diferenciar tipos de atividades. Cores e sombreados também podem ser utilizados para chamar a atenção em diferentes tipos de atividades, tais como aquelas mais importantes no processo. De acordo com Montevechi *et al.* (2008) apesar desta flexibilidade da técnica onde muitas representações são aceitas, deve-se haver uma padronização do sistema utilizado, para que o fluxograma seja de fácil entendimento.

A seguir tem-se a Figura 2.2 com os principais símbolos utilizados no fluxograma e seus significados.

Símbolo	Significado e explicação
	Operação. Ocorre quando um objeto é modificado intencionalmente em uma ou mais de suas características. É registrado por um verbo ou expressão verbal que indica uma ação.
	Transporte. Ocorre quando um objeto é deslocado de um lugar para outro, exceto quando o movimento é parte integral de uma operação ou inspeção.
	Inspeção. Ocorre quando um objeto é examinado para identificação ou comparado com um padrão pré-definido.
	Espera. Ocorre quando um objeto aguarda por uma operação, transporte ou inspeção, paralisando assim seu fluxo.
	Armazenamento. Ocorre quando um objeto é mantido paralisado no fluxo produtivo, estando sob controle e com sua retirada requerendo autorização.

Figura 2.2 – Símbolos utilizados na técnica de fluxograma

Corrêa e Corrêa (2006) afirmam que o fluxograma é uma das mais importantes ferramentas para análise de processos. Para o autor, a técnica é útil para se ter uma noção do todo no processo, do papel das partes neste todo, de potenciais problemas e oportunidades de melhorias e simplificações.

Mello (2008) destaca algumas vantagens da utilização da técnica fluxograma:

- Permite a verificação de como se conectam e relacionam os componentes de um sistema, mecanizado ou não, facilitando a análise de sua eficácia;
- Facilita a localização das deficiências, pela fácil visualização dos passos, transportes, operações, formulários, etc.
- Propicia o entendimento de qualquer alteração proposta para sistemas existentes, pela clara visualização das modificações introduzidas.

De acordo com Damij (2007), uma das vantagens da técnica fluxograma é permitir ao modelador unir várias partes do processo para se ter uma visão global, conforme o mesmo julgar necessário. Entretanto, o autor argumenta que a técnica descreve modelos extensos sem ilustrar a hierarquia de diferentes camadas do processo.

Rosemann (2006) destaca que um excesso de notações tem sido utilizado em fluxogramas de todos os tamanhos e formas nas organizações. Aguilar-Savén (2004) afirma que o ponto fraco da técnica para o usuário está no fato dela poder assumir grande extensão na representação de processos. O principal ponto negativo ao modelador é o fato de existirem diversas notações diferentes associadas à técnica.

2.5.2 SIPOC

O SIPOC é uma das ferramentas mais adequadas a serem utilizadas para se definir corretamente o problema, principalmente por identificar as fronteiras do projeto, ou seja, os fornecedores e clientes do processo em estudo, as principais “entradas” a serem processadas e a relação das características mais críticas aos clientes quanto às “saídas” geradas (FERNANDES, 2006).

Através do uso do SIPOC, é possível identificar as entradas e saídas do processo em estudo, bem como suas respectivas especificações. Na representação desta técnica tem-se o processo em análise e os demais elementos vinculados a este processo. Estes elementos são representados pelas entradas, fornecedores, saídas e clientes, conforme visto na figura 2.3.

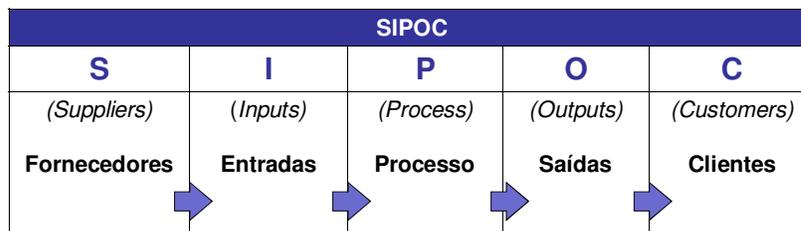


Figura 2.3 – Principais elementos componentes do SIPOC

- Entradas: representam tudo que é necessário para que o processo seja executado, como por exemplo, matéria-prima, informações, mão-de-obra e ferramentas. Estas entradas podem estar associadas a requerimentos, ou seja, especificações ligadas ao processo, tais como normas de qualidade ou metas da própria empresa.
- Fornecedores: responsáveis por fornecer as entradas para o processo. Um fornecedor pode ser responsável por mais de uma entrada, ou ainda mais de um fornecedor responsável por somente uma entrada. Os fornecedores podem ser externos (não pertencentes à empresa analisada) ou internos (departamentos dentro da própria empresa)
- Saídas: Representam tudo que é gerado pelo processo, podendo ser saídas desejáveis, como por exemplo, produtos e informações, ou saídas indesejáveis, como refugo e resíduos.
- Clientes: os que irão receber as saídas. Um cliente pode receber mais de uma saída, ou ainda vários clientes podem receber a mesma saída. Como no caso dos fornecedores, os clientes podem ser externos (não pertencente à empresa analisada) ou internos (departamentos dentro da própria empresa)

Simon (2001) descreve o diagrama SIPOC como uma ferramenta que permite identificar todos os elementos pertinentes de um projeto de melhoria de processo antes do início do trabalho. Ele afirma ainda que a ferramenta de SIPOC é particularmente útil quando não estiver bem definido quem provê contribuições ao processo, que especificações são colocadas nestas contribuições, quem são os verdadeiros clientes do processo, e ainda quais são as exigências dos clientes.

2.5.3 IDEF

Segundo o *Federal Information Processing Standards Publications* (FIPS PUBS, 1993), 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*).

Existem 16 métodos (do IDEF0 ao IDEF14 – incluindo IDEF1X) sendo que cada um destes foi projetado para capturar um tipo de informação particular através da modelagem do processo. Maiores detalhes sobre a aplicação do IDEF podem ser encontrados no *site* mantido pela *Knowledge Based Systems, Inc.* (www.idef.com). Os métodos que compõem a família IDEF se encontram na tabela 2.1 a seguir.

Métodos IDEF	
IDEF0	Function Modeling
IDEF1	Information Modeling
IDEF1X	Data Modeling
IDEF2	Simulation Model Design
IDEF3	Process Description Capture
IDEF4	Object-Oriented Design
IDEF5	Ontology Description Capture
IDEF6	Design Rationale Capture
IDEF7	Information System Auditing
IDEF8	User Interface Modeling
IDEF9	Scenario-Driven IS Design
IDEF10	Implementation Architecture Modeling
IDEF11	Information Artifact Modeling
IDEF12	Organization Modeling
IDEF13	Three Schema Mapping Design
IDEF14	Network Design

Tabela 2.1– Métodos que compõem a família IDEF

Alguns autores trabalham com a integração das técnicas IDEF com outras formas de modelagem de processos. Bosil *et al.* (2000) avaliam a conveniência do uso conjunto de

abordagens do IDEF0 em conjunto com redes Petri na modelagem de processos. Já Ma, Zhang e Ma (2002) desenvolveram um constructo abordando extensões do IDEF1X para representar informações *fuzzy*.

Kim *et al.* (2003) desenvolveram uma ampla revisão sobre técnicas IDEF e UML. Eles identificaram similaridades entre objetos utilizados na representação destas duas técnicas. Para os autores, o desenvolvimento combinado de modelos IDEF e UML tem o poder de unir a descrição de sistemas de manufatura e o comportamento de elementos empresariais como fornecedores, produtos, máquinas, pessoas, equipes, entre outros.

Apesar do grande número de técnicas existentes dentro da família IDEF, as versões mais úteis para a modelagem de processos de negócios são o IDEF0 e o IDEF3 (AGUILAR-SAVÉN, 2004). Portanto, uma maior atenção será dada a estas duas técnicas, principalmente porque estas serviram como base para a construção da técnica IDEF-SIM a ser analisada neste trabalho, técnica esta que será melhor explicada no capítulo 4 desta dissertação.

2.5.4 IDEF0

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.

A técnica IDEF0 representa o comportamento funcional de um sistema através de diferentes tipos de dados e um conjunto de atividades. Estes dados podem ser informações, objetos ou qualquer coisa que possa ser descrita em uma frase nominal (JEONG, WU E HONG, 2009).

O IDEF0 possui elementos gráficos e textuais combinados, e que são apresentados de forma organizada e sistemática, visando obter entendimento sobre o sistema, suporte para análises, construção da lógica para potenciais mudanças, especificação de requerimentos e visualização da integração entre atividades. Um modelo IDEF0 é composto por uma série hierárquica de diagramas que gradualmente exibe níveis de detalhe na descrição de funções e suas interfaces com o contexto do sistema.

A representação gráfica constitui-se de caixas interligadas por setas. Uma caixa disponibiliza a descrição do que acontece em uma função. Cada caixa possui um nome e um número dentro do seu contorno. O nome deve ser dado por um verbo ou frase verbal que descreva a função. O número é posicionado no canto inferior direito. As caixas são organizadas normalmente de

forma diagonal, do lado superior esquerdo para o lado inferior direito, em uma configuração escada.

As setas podem ser diretas ou curvadas (com um ângulo de 90 graus, conectando com uma parte na horizontal ou vertical), e podem ter ramificações, saindo ou se unindo a outra seta. As setas não representam o fluxo ou sequência como uma modelagem convencional de fluxo de processo, mas sim carregando dados ou objetos relacionados a funções a serem desempenhadas. Os principais elementos representados em um mapeamento em IDEF0 encontram-se na figura 2.4.

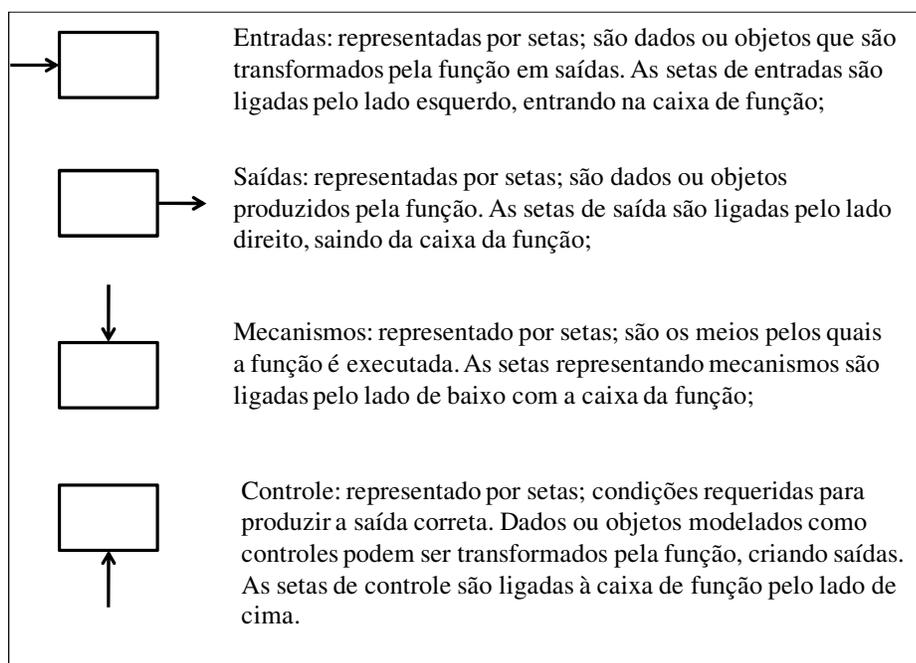


Figura 2.4- Símbolos utilizados no IDEF0

Um exemplo de modelo em IDEF0 pode ser visto na figura 2.5. Nesta, pode-se perceber os controles e recursos necessários para que as atividades projeto e construção do sistema aconteçam, ou seja, transforme as entradas em saídas em cada uma destas atividades. Nota-se ainda que as saídas de um atividade podem funcionar como controle de outras.

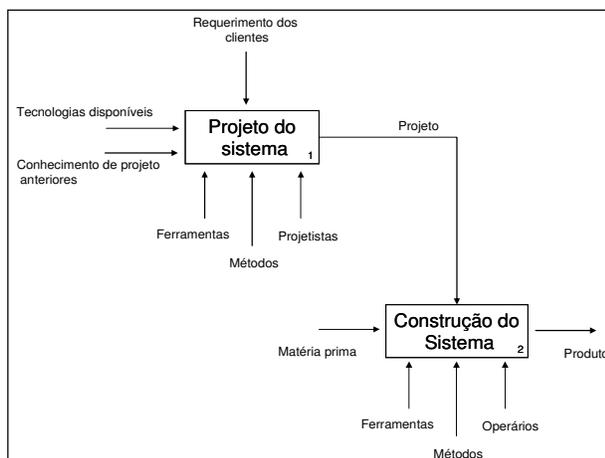


Figura 2.5 – Exemplo de um modelo de processo em IDEF0
 Fonte: Leal *et al.* (2007)

O IDEF0 pode ser utilizado para modelar uma ampla variedade de sistemas automatizados e não automatizados. Para sistemas em fase de projeto, o IDEF0 pode ser utilizado para definir os requerimentos e especificações das funções e projetar uma implementação seguindo os requerimentos e especificações. Para sistemas já implantados, o IDEF0 pode ser utilizado para analisar as funções do sistema e registrar os mecanismos (meios) pelos quais as funções são executadas. (LEAL *et al.*, 2007)

Hernandez-Matias *et al.* (2008) confirmam que a flexibilidade do método reside na capacidade de permitir uma análise de sistemas complexos, onde há a necessidade do estudo de múltiplos níveis de detalhe. Para os autores, o IDEF0 é a versão mais amplamente utilizada em análises na manufatura.

Para Perera e Liyanage (2000) o IDEF0 permite ao usuário contar uma história do que está acontecendo no sistema. A metodologia permite ainda descrever este sistema com um nível de detalhes tão completo quanto o desejado. Já Belmiro e Pina (2006) afirmam que a técnica IDEF0 possibilita uma representação sistemática e estruturada da funcionalidade do sistema de uma perspectiva estática.

Santos e Varvaski (2001) afirmam que uma das qualidades da técnica IDEF0 é a precisa identificação dos recursos envolvidos no processo, quer sejam recursos humanos, matérias ou informações. Mas segundo os mesmos autores, como as pessoas têm uma tendência de identificar diagramas como uma sequência de eventos devido à cultura herdada dos fluxogramas, a leitura do IDEF0 pode gerar certa incompreensão já que a sequência não é a ênfase desta técnica, e sim o conteúdo das atividades e os recursos envolvidos.

Os autores Rashid e Ismail (2007) utilizaram a técnica IDEF0 para mapear as atividades envolvidas no processo de desenvolvimento de um novo produto. Segundo eles, sentiu-se a necessidade de uma técnica de mapeamento que modelasse o processo de desenvolvimento como um todo e ainda fornecesse a oportunidade de detalhar uma atividade específica, caso desejado. A habilidade da técnica IDEF0 de descrever um processo de forma hierárquica foi um dos pontos principais que direcionou a escolha da técnica. Entretanto, para os autores, a técnica é limitada por não apresentar uma forma de avaliar qualitativamente a eficácia do processo.

Já Fulscher e Powell (1999) descrevem detalhadamente em seu trabalho a experiência de utilizar a técnica IDEF0 em um workshop para mapear o processo de uma determinada empresa. Neste workshop estavam presentes profissionais de diferentes áreas que não conheciam a técnica. Entretanto, segundo os autores, este fato não foi um problema devido à relativa facilidade de entendimento do IDEF0. Outro benefício destacado foi o grande nível de detalhamento fornecido pela técnica, que aumentou a qualidade do mapeamento dos processos da empresa em questão.

Staccini *et al.*(2005) escolheram a técnica IDEF0 para mapear o processo do setor de um hospital responsável pela transfusão de sangue. Segundo os autores, havia a necessidade de se ter uma ferramenta que criasse um elo entre médicos e analistas de sistemas, para que os médicos pudessem descrever suas práticas e processos de atendimento e os analistas pudessem modelá-las. Desejava-se uma técnica de mapeamento que fosse de fácil entendimento para ambas as partes e que conseguisse delinear responsáveis, atividades, documentação, objetivos e indicadores do processo.

Os autores Gingele, Childe e Miles (2002) fizeram adaptações na técnica IDEF0 para criar o IDEF₉₀₀₀, uma técnica com sintaxe e semântica estendida para identificar ligações com a norma de qualidade ISO 9001, visando assim destacar quais fluxos e atividades de uma empresa são controladas por esta norma e que por isso devem receber uma maior atenção. Os autores escolheram a técnica IDEF0 para as adaptações por acreditarem que apresenta a vantagem de oferecer uma visão sistêmica de um processo.

Alguns trabalhos retratam o uso da técnica no setor químico, como por exemplo, o trabalho de Hirao *et al.*(2008) que aplicaram a técnica IDEF0 para modelar o desenvolvimento do projeto de um processo químico. A experiência dos autores com a técnica relata que a aplicação da mesma permitiu uma descrição sistemática e transparente de atividades complexas, onde o

gestor deve considerar diferentes tipos de restrições e recursos do projeto, em diferentes estágios.

Já Bargelis e Stasiskis (2008) utilizaram a técnica na área de desenvolvimento de produto. Eles criaram modelos em IDEF0 em um ambiente virtual para testar e avaliar a eficiência do processo de desenvolvimento de um produto, alterando em cada modelo parâmetros como custo, dimensões de um produto, tipo de produto, *lead time* e tipo de operação. Se uma alternativa de modelo apresentar parâmetros insuficientes relacionados a custo e qualidade do produto, então um novo modelo é gerado para atender a eficiência desejada.

Entretanto, para Tsironis, Gentsos e Moustakis (2008), uma das desvantagens do IDEF0 é a falta de notações de modelagem que representem qualquer tipo de erros. De acordo com os autores isso acontece porque a técnica baseia somente na descrição do andamento do processo e não na identificação ou predição de erros. Os mesmos autores propuseram então algumas notações, a serem acrescentadas na linguagem da técnica, que identificam erros, atrasos e se um fluxo é paralelo ou não.

2.5.5 IDEF3

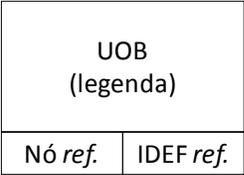
Outra técnica integrante da família IDEF é o IDEF3, cujo objetivo principal é fornecer um método estruturado para descrever a operação de um sistema particular ou organização (LI e CHEN, 2009). De acordo com Jeong, Cho e Phillips (2008), IDEF3 é um método descritivo de modelagem que representa graficamente o conhecimento do processo de um dado sistema, de forma a melhorar a comunicação entre membros do projeto.

Um modelo de processos em IDEF3 descreve uma rede de eventos em um cenário (LI e CHEN, 2009). Para Mayer *et al.* (1995) um cenário pode ser interpretado como sendo uma atividade ou situação recorrente, um conjunto de situações que descrevem os problemas típicos enfrentados por uma organização ou o contexto em que um determinado processo se inicia ou evolui. Os cenários estabelecem o foco e as fronteiras da descrição de um processo.

Ainda segundo Mayer *et al.* (1995) para a construção de um modelo em IDEF3 pode-se utilizar duas estratégias: a estratégia centrada em processo (*Process Flow Diagrams*) e a estratégia centrada em objeto (*Object State Transitions Network*). A estratégia centrada em processo está focada no processo e suas relações lógicas, temporais e causais dentro de um cenário. Já a estratégia centrada em objetos possui o foco no objeto e no seu comportamento de mudança de estado em um cenário ou através de múltiplos cenários.

Ryan e Heavey (2006), afirmam que a técnica de modelagem de processos IDEF3 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. Mas, de acordo com Li e Chen (2009) a estratégia centrada em processos, chamada de diagrama de fluxo de processos, é a mais utilizada para descrever modelos em IDEF3.

Os elementos principais utilizados na técnica IDEF3 são o UOB, Links, Junções e os Referentes. Nas tabelas 2.2a e 2.2b se tem a representação destes elementos, bem como sua definição.

	<p>UOB: <i>Unit of behavior</i></p> <p>Uma UOB captura informações sobre o que acontece em um sistema, para representar um processo ou uma atividade. É descrita por um retângulo com uma única legenda (Jeong, Cho e Phillips, 2008).</p> <p>A UOB é caracterizada em termos de objetos que a compõem, intervalos de tempo, e relações temporais com outros processos. Cada caixa de UOB tem uma elaboração associada, com condições ou restrições lógicas (Kim, Yim, Weston, 2001).</p>
	<p>Links:</p> <p>Usados para denotar relações significantes entre as UOBs (Mayers <i>et al.</i>, 1995)</p> <p>Representam conceitos lógicos, causais, temporais, naturais ou relacionais entre UOBs (Jeong, Cho e Phillips, 2008).</p>
	<p>Junções:</p> <p>Fornecem um mecanismo específica a ramificação lógica das UOBs (Kim, Yim e Weston, 2001).</p> <p>Introduz tempos e sequências de múltiplos caminhos (Jeong, Cho e Phillips, 2008).</p> <p>Simplifica a captura de relacionamento de tempo e de sequência entre múltiplos caminhos do processo (Mayers <i>et al.</i>, 1995).</p>
	<p>Junção Assíncrona “AND”: Quando todas UOBs relacionadas com a junção acontecem sendo que as atividades paralelas não precisam começar ou terminar ao mesmo tempo. (Mayers <i>et al.</i> 1995)</p>
	<p>Junção Síncrona “AND”: quando todas as UOBs relacionadas com a junção acontecem sendo que as atividades paralelas precisam começar ou terminar ao mesmo tempo (Mayers <i>et al.</i> 1995)</p>

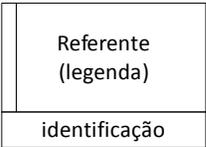
	Junção Assíncrona “OR”: uma ou mais UOBs relacionadas com a junção acontecem, mas não precisam começar ou terminar ao mesmo tempo. (Mayers <i>et al.</i> 1995)
	Junção Síncrona “OR”: uma ou mais UOBs relacionadas com a junção acontecem mas precisam começar ou terminar ao mesmo tempo. (Mayers <i>et al.</i> 1995)
	Junção “XOR”: somente uma UOB relacionada com a junção ocorrerá. (Mayers <i>et al.</i> 1995)
	Referentes: São representados por caixas que contêm informações adicionais relacionadas a uma UOB. (Kim, Yim e Weston, 2001). Reforça a compreensão, fornecendo um sentido adicional e simplifica a construção, minimizando a desorganização (Mayers <i>et al.</i> 1995).

Tabela 2.2 – Simbologia utilizada na técnica IDEF3

A seguir, para uma melhor ilustração da simbologia utilizada pela técnica, tem-se um exemplo de um modelo construído através da técnica IDEF3.

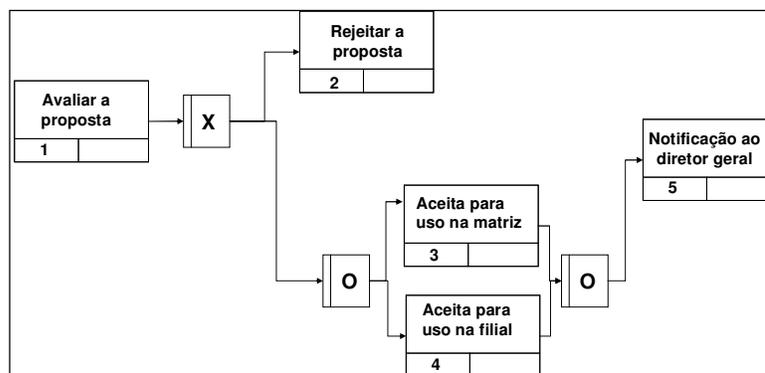


Figura 2.6 – Exemplo de um modelo em IDEF3

Fonte: Leal (2008)

Para Mayers *et al.* (1995) a técnica IDEF3 auxilia a qualquer tipo de aquisição de conhecimento, proporcionando uma abordagem bem estruturada e confiável de aquisição de conhecimento, e uma forte expressividade, sendo uma linguagem fácil de ser usada, para a captação e expressão de informações.

Tseng, Qin Hai e Su (1999) aproveitaram-se da flexibilidade oferecida pelo IDEF3 e fizeram algumas simplificações e adaptações na mesma, visando a sua utilização no caso específico das operações de serviço. O IDEF3 adaptado no referido trabalho considera a participação do

cliente no serviço, descrevendo o processo por meio de diagramas e informações adicionais para cada atividade. Neste caso, denominou-se a UOB de CBU (*Customer Behavior Unit*).

Yan-ling, Fu-yuan e Wen-bo (2004) desenvolveram um modelo em IDEF3 para direcionar implementações de BPR (*Business Process Reengineering*). Eles aplicaram o modelo em um processo de fornecimento de uma empresa da China. Ao analisar os benefícios do uso do IDEF3, os autores afirmam que a técnica ofereceu uma versão detalhada do sistema como é atualmente (“*as-is*”) para assim desenvolver o sistema como será no futuro (“*to-be*”), forneceu também uma base para análise das atividades, tornou o processo de reengenharia claro e mais operacionalmente praticável, e ainda facilitou discussões para a equipe de BPR da empresa.

Já alguns pontos negativos da técnica são destacados pelos autores Aguilar-Savén (2004) que destaca o padrão rígido das regras para o uso da técnica IDEF3 e Ryan e Heavey (2006) que apontam que esta técnica não permite a representação gráfica dos recursos inseridos no fluxo do processo ou na rede de transição de estados dos objetos.

Ao comparar as técnicas IDEF0 e IDEF3, o autor Leal (2008) afirma que o IDEF3, ao contrário do IDEF0, descreve eventos ou atividades na verdadeira ordem na qual estes ocorrem, levando em consideração as precedências temporais. Outras diferenças entre estas duas técnicas são destacadas pelos autores Kim, Yim e Weston (2001) e Li e Chen (2007) nas tabelas 2.3 e 2.4 a seguir.

	IDEF0	IDEF3
Pontos de Vista	Que blocos de funções compõem o processo? Que entidades são necessárias pro desempenho da função? Que entidades são geradas pelas funções que compõem o processo	Que comportamentos compõem o processo? Quais são as relações comportamentais ao longo do tempo? Em que ordem os fluxos do objeto são desempenhados ?
Tipos de entidade do sistema	Função, condição, fluxo de entidade	UOB, ordem e sequencia de UOBs
Principais conceitos da modelagem	Blocos de função, ICOM	UOB, link, junções

Tabela 2.3-Diferenças entre as técnicas IDEF0 e IDEF3

Fonte: Kim, Yim e Weston (2001)

IDEF0	IDEF3
o que é feito	como é feito
dependências funcionais	precedência e causa e efeito
identificar atividades que necessitam de melhorias	reduzir tempo de ciclo
método de modelagem	método de descrição

Tabela 2.4 – Características das técnicas IDEF0 e IDEF3

Fonte: Li e Chen (2009)

2.6 Considerações Finais

O mapeamento de processos permite, além de uma visão detalhada do sistema, uma reflexão das atividades realizadas facilitando assim a identificação de problemas e possibilidades de melhorias, o desenvolvimento do sistema de informações e ainda a armazenagem de conhecimento dos sistemas da empresa. Dentro deste contexto, desenvolver uma mentalidade focada em processos tem sido uma preocupação cada vez maior das empresas, gerando trabalhos em universidades e empresas que buscam melhores formas de se modelar processos.

Um projeto de mapeamento de processo pode ser um consumidor de tempo e recursos se não planejado corretamente. A fim de evitar este problema, é possível encontrar na literatura guias e modelos a serem seguidos para se obter uma modelagem de sucesso, ou seja, alcançar o objetivo desta modelagem com os recursos alocados para este fim. Entretanto estes guias e modelos não identificam o que deve ser representado e nem qual técnica deve ser utilizada, deixando a escolha a cargo do modelador.

A escolha da técnica de mapeamento não é algo trivial, ela deve promover um maior entendimento e comunicação entre todas as pessoas envolvidas no processo. A própria diversidade de técnicas existentes pode agravar esta tarefa de escolha. Cabe ressaltar que neste capítulo foram apresentados definições e exemplos de aplicação das técnicas utilizadas no desenvolvimento do trabalho, as técnicas fluxograma e SIPOC, e ainda das técnicas que serviram como base de construção da técnica de modelagem em análise nesta dissertação, as técnicas IDEF0 e IDEF3.

Apesar de todas as vantagens oferecidas pela atividade de se mapear processos, em alguns casos a mesma pode não ser tão satisfatória. De acordo com Aguilar-Savén (2004), quando a análise do processo exige mecanismos mais sofisticados do que análises qualitativas ou modelos de diagramação estática, há a necessidade do uso de aspectos dinâmicos e funcionais. Para este caso, os usuários necessitam de um modelo que permita mais interação para análises do tipo “o que aconteceria se”. Estas análises podem ser feitas através da simulação computacional, assunto do próximo capítulo desta dissertação.

Capítulo 3 - Simulação Computacional

A alta competitividade das indústrias modernas tem levado as empresas a um contínuo refinamento de seus processos de manufatura, e em muitos casos, os resultados obtidos de análises convencionais deixam uma lacuna na descrição destes sistemas complexos (HERNANDEZ-MATIAS *et al.*, 2008). Para Morabito e Pureza (2010) o principal desafio de gestores em ambientes empresariais é o de tomar decisões para que o sistema opere da melhor forma possível. Em tais situações a utilização de modelos de simulação permite compreender melhor o ambiente em questão, identificar problemas, formular estratégias e oportunidades e ainda apoiar e sistematizar o processo de tomada de decisões.

De acordo com O'kane, Spenceley e Taylor (2000), os sistemas de manufatura são constituídos de muitas operações discretas que ocorrem aleatoriamente e de forma não linear para que modelos matemáticos ou outros métodos sejam práticos. Entretanto, um modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições de contorno (CHWIF e MEDINA, 2006).

O objetivo deste capítulo é apresentar uma revisão bibliográfica da simulação computacional, principalmente com relação a sua capacidade de ampliar o conhecimento do funcionamento atual e futuro de um sistema. Para tanto, irá se apresentar a definição da simulação segundo alguns autores, bem como as vantagens e desvantagens de sua aplicação. Ir-se-á ainda demonstrar alguns exemplos de aplicação da simulação em diferentes setores e por fim, apresentar o exemplo de uma estrutura de um projeto completo de simulação computacional a eventos discretos.

3.1 Definição de simulação computacional

A simulação computacional pode ser definida como a representação virtual de um sistema da vida real através de um modelo, tornando possível o estudo do sistema sem que seja necessário construí-lo na realidade, ou mesmo fazer modificações nesse sistema, e estudar os resultados dessas modificações, sem que haja necessidade de alterá-lo previamente (HARREL, GHOSH e BOWDEN, 2000).

De acordo com Montevechi *et al.* (2007) a simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado, onde seu comportamento pode ser estudado sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou altos custos envolvidos. Para Giannasi, Lovett e Godwin (2001), a

simulação representa um modelo dinâmico de aspectos selecionados de um mundo real ou de um sistema imaginado. Esta não resolve por si mesma os problemas relacionados ao sistema, mas oferece resultados e saídas que podem ser usados na resolução destes problemas.

A simulação é uma técnica utilizada tanto para projeto e avaliação de novos sistemas, como para reconfiguração física ou mudanças no controle e/ou regras de operação de sistemas existentes (SAKURADA e MIYAKE, 2009). Segundo Melão e Pidd (2006), a simulação a eventos discretos, amplamente utilizada na melhoria de processos das empresas desde o início de 1990, implica na construção de modelos computacionais de simulação que imitam um processo, de modo a explorar cenários e projetos alternativos.

Diferentemente dos autores citados anteriormente, Chwif e Medina (2006) afirmam o que a simulação não é:

- Uma bola de cristal: a simulação não pode prever o futuro. O que ela pode prever com certa confiança é o comportamento de um sistema baseado em dados de entradas específicos e respeitado um conjunto de premissas.
- Um modelo matemático: embora se utilizem fórmulas matemáticas em um modelo de simulação, não existe uma expressão analítica fechada ou um conjunto de equações que, fornecidos os valores de entrada, fornecem resultados sobre o comportamento do sistema a partir de uma forma analítica direta.
- Uma ferramenta estritamente de otimização: a simulação é uma ferramenta de análise de cenários. Esta pode ser combinada com algoritmos de otimização, mas a simulação por si só não é uma ferramenta de otimização capaz de identificar uma solução ótima.
- Substituta do pensamento inteligente: a simulação não pode substituir o ser humano no processo de tomada de decisão.
- Uma técnica de ultimo recurso: a simulação era considerada uma técnica de ultimo recurso, que deveria ser utilizada quando todas as técnicas possíveis falhassem. Atualmente, a simulação é uma das técnicas mais utilizadas na pesquisa operacional.
- Uma panacéia que irá solucionar todos os problemas: a simulação possui uma classe de problemas bem específicos, nos quais se adapta bem.

3.2 Vantagens e desvantagens da simulação

Diversos autores trazem em seus trabalhos vantagens oferecidas pelo uso da simulação computacional. Esta ampla gama de vantagens contribui com o crescente aumento de utilização desta ferramenta, em diversos setores de aplicação. Os autores Habchi e Berchet

(2003) citam algumas destas vantagens da simulação, principalmente relacionadas à modelagem de sistemas em um ambiente de manufatura:

- É possível criar modelos realísticos, sendo estes uma abordagem prática para representar características importantes de um sistema de manufatura e ainda permitir a incorporação de quaisquer interações complexas existentes entre diferentes variáveis.
- Diferentes opções podem ser consideradas sem experimentações diretas no sistema e projetos alternativos podem ser facilmente avaliados, independente do sistema real.
- Modelos de simulação têm a habilidade de abordar diretamente medidas de desempenho normalmente usadas em sistema real.
- Sistemas não existentes podem ser modelados.
- A saída visual auxilia o usuário final no desenvolvimento e validação do modelo.
- Não é exigida uma matemática avançada.
- Métodos analíticos tradicionais podem ser vistos como desnecessários pela gerência ou exigir excesso de simplificações.

Já Sandanayake, Oduoza e Proverbs (2008) acreditam que as ferramentas de modelagem e simulação auxiliam a visualizar, analisar e otimizar processos complexos de produção, dentro de uma quantia razoável de tempo e investimento. Ainda segundo os autores, a simulação de sistemas de manufatura tem se tornado cada vez mais importante na busca de uma melhor performance dos processos.

Para Boeira (2008) a simulação além de contribuir na otimização de recursos em busca de melhorias na produtividade e qualidade de produtos e serviços, permite testar alterações em diferentes cenários, auxiliando assim na compreensão do que estas alterações irão provocar nos processos existentes e ainda ampliando o conhecimento de como o sistema funciona. Banks *et al.* (2005) trazem uma lista de vantagens oferecida pela simulação:

- Auxílio a tomada de decisão: a simulação possibilita testar todos os aspectos de uma proposta de mudança com menor gasto de recursos;
- Permite desacelerar e acelerar o tempo: podem-se analisar fenômenos variando a velocidade do tempo de simulação;
- Facilita o entendimento do porquê: gestores frequentemente querem saber o porquê de certos fenômenos ocorrerem em um sistema real. Com a simulação, é possível determinar as respostas das questões reconstruindo a situação;

- Exploração de possibilidades: uma das grandes vantagens da simulação, uma vez que se tenha um modelo de simulação validado, é a possibilidade de explorar novas políticas, processos operacionais, ou métodos, sem uma experimentação direta no sistema real, o que certamente envolveria maiores custos;
- Diagnóstico de problemas: as modernas fábricas de manufatura ou organizações de serviços possuem processos complexos, sendo impossível considerar todas as interações que ocorrem em um local em dado momento. Com a simulação é possível avaliar os efeitos das variáveis e suas interações sobre o sistema;
- Identificação das restrições: a presença de gargalos na produção causa efeitos indesejados. A simulação é capaz de conduzir o analista do problema às causas das esperas dos materiais, das informações, do trabalho em si, etc.;
- Desenvolvimento do conhecimento: o estudo de simulação promove o entendimento sobre como o sistema realmente funciona, ao invés de uma informação prescritiva;
- Visualização da planta: dependendo do software utilizado, é possível visualizar as operações sob diferentes pontos de vista;
- Construção de um consenso: é possível, com a simulação, evitar inferências feitas para aprovar ou reprovar projetos, pois estas podem ser simuladas e seus efeitos demonstrados. Além disto, tendo um modelo testado, validado e visualmente representado, torna-se mais fácil aceitar os resultados da simulação do que a opinião isolada de uma pessoa;
- Preparação para mudanças: respondendo as questões “o que aconteceria se”, cria-se uma situação desejável tanto para desenvolvedores de novos sistemas quanto ao re-projeto de sistemas já existentes;
- Investimentos com sabedoria: o custo típico de um estudo de simulação é substancialmente menor do que a quantia total gasta na implementação de projetos ou re-projetos;
- Treinamento da equipe: modelos de simulação podem proporcionar excelentes treinamentos quando projetados para tal, sendo uma estratégia mais barata e menos problemática.
- Especificação das necessidades: a simulação pode ser utilizada para especificar necessidades para um projeto de sistema.

Apesar das diversas vantagens oferecidas pela simulação, algumas das quais apresentadas anteriormente, esta ferramenta apresenta ainda algumas desvantagens. Para Doloi e Faafari

(2002) a complexidade de simular um processo geralmente age como uma restrição na utilização da simulação para avaliar de situações da vida real.

Segundo Habchi e Berchet (2003) nem todas as possibilidades da simulação computacional são utilizadas, se tornando assim limitada em seu uso e suas aplicações. Para os autores, isso se deve ao fato de que os processos de tomada de decisão operacional e seu impacto no sistema de produção não são levados em consideração durante a simulação, uma vez que as ferramentas existentes não são adaptadas para modelagem de decisão e controle.

Já Ryan e Heavey (2006) consideram que a simulação tem teoricamente grande potencial para auxiliar no entendimento e operação eficiente de sistemas. Entretanto, muitos estudos mostram que é baixo o uso de simulação pela indústria. Para os autores isso se deve à forma com que a simulação vem sendo implementada. Eles acreditam que valiosas informações relacionadas à operação do sistema simulado podem ser perdidas em códigos detalhados de simulação visíveis somente a aqueles intimamente envolvidos com a programação.

Para Law e Kelton (2000) os modelos de simulação em geral são caros e consomem bastante tempo em seu desenvolvimento. Já Banks *et al.* (2005) destacam que na simulação a construção de modelos requer treinamento especial e que os resultados podem ser de difícil interpretação já que são essencialmente variáveis aleatórias. Estes autores destacam ainda que um projeto de simulação pode tomar muito tempo acarretando em maiores custos e que a simulação pode ser utilizada inapropriadamente em casos onde o uso de uma solução analítica seria preferível.

3.3 Áreas de aplicação da simulação

A modelagem por simulação a eventos discretos tem se tornado uma das técnicas de análise de sistemas complexos de manufatura mais populares e de melhor custo benefício (BANKS *et al.*, 2005; O'KANE, SPENCELEY, e TAYLOR, 2000). Isso porque esta ferramenta apresenta habilidade inerente de avaliar sistemas complexos e considerar seu comportamento dinâmico.

Baldwin, Eldabi e Paul (2005) acreditam que existem três razões principais para este significativo aumento do uso da simulação. A primeira é a crescente competição entre empresas, resultante de uma maior ênfase na automação visando aumentar produtividade, qualidade e reduzir custos. Esta competição tem levado a um aumento da complexidade do sistema, a qual só pode ser analisada por simulação. A segunda razão é a redução em larga escala do custo de hardwares utilizados para executar modelos de simulação, além da disponibilidade de softwares avançados de simulação. Por fim, a introdução da animação

resultou em uma maior compreensão da simulação por não especialistas, como engenheiros e gerentes da manufatura.

Segundo Chwif e Medina (2006) a área de manufatura, depois da área militar, é o segundo maior campo de aplicação da simulação. Exemplos de aplicação da simulação na área de manufatura podem ser encontrados em trabalhos como o de Kumar e Sridharan (2007) que utilizaram a simulação para verificar a combinação de regras de sequenciamento, de Raja e Rao (2007) que aplicaram a simulação para avaliar rotas dentro do fluxo produtivo de uma empresa do setor têxtil, de Van Volsem, Dullaert e Van Landeghem (2007) que otimizaram estratégias de inspeção em sistemas de produção fazendo uso combinado da simulação e da otimização, de Potter, Yang e Lalwani (2007) que modelaram um processo de produção de aço, de Mello (2008) que simulou uma linha de produção de chicotes para diagnosticar o estado atual e ainda implementar melhorias, entre tantos outros.

Apesar do grande uso da simulação para solucionar problemas no ambiente de manufatura, esta ferramenta tem sido bastante utilizada também em outros setores. A fim de ilustrar o uso da simulação em demais áreas de atuação, ir-se-á apresentar alguns exemplos de suas aplicações em diferentes setores.

3.3.1 Simulação em setores públicos

Leal (2003) apresentou em seu trabalho uma proposta para diagnosticar o processo de atendimento a clientes em uma agência bancária utilizando um conjunto técnicas de mapeamento de processo aliado à simulação computacional. Segundo o autor, a simulação além de representar graficamente o comportamento das filas de espera, demonstrou-se capaz no processo de propostas e análises de melhorias e ainda auxiliou a estabelecer a sensibilidade de variáveis e parâmetros sob o processo.

Já Greasley (2006) desenvolveu um projeto de simulação em um setor público, a fim de analisar mudanças na implementação de um novo sistema de reporte de acidentes de trânsito em um setor policial do Reino Unido. Apesar de destacar vantagens como o entendimento do sistema atual e do sistema proposto e fornecer uma visão dinâmica, o autor acredita que um projeto de simulação pode exigir um significativo esforço em termos de custo, tempo e habilidade de modelagem.

Greasley (2003) utilizou uma aplicação da simulação no processo de custódia de prisioneiros pela força policial, buscando identificar os custos de pessoal envolvidos no processo de prisão e prever as mudanças na taxa de utilização de pessoal como resultado de um re-projeto de

alocação de pessoas. Para o autor a aplicação da simulação na área de serviços corresponde a um grande potencial para obtenção de resultados de melhoria.

3.3.2 Simulação em logística

A simulação pode exercer um importante papel no auxílio no gerenciamento da cadeia de suprimentos, sobretudo por oferecer análises “e-se” e por avaliar quantitativamente benefícios e problemas decorrentes do processo em um ambiente cooperativo (TERZI e CAVALIERI, 2004). Segundo os mesmos autores a cadeia de suprimentos é um ambiente típico onde a simulação, em especial simulação a eventos discretos, pode ser considerada um instrumento de grande utilidade. Isso porque é possível reproduzir e testar diferentes alternativas de tomada de decisão sobre possíveis cenários previsíveis, a fim de verificar com antecedência o nível de otimização e robustez de uma dada estratégia.

De acordo com Doloi e Faafari (2002) diversas organizações têm economizado significativa quantia de dinheiro e evitado maiores riscos usando a simulação no setor logístico. Os autores citam como exemplo o caso da empresa IBM que, na tentativa de reduzir custos operacionais e de armazenagem, desenvolveu um projeto de simulação. As técnicas de simulação foram usadas para avaliar diferentes estratégias de execução de fabricação e para identificar os menores custos de políticas de distribuição.

Bergue (2000) desenvolveu um projeto de simulação em um armazém geral, mas apesar de ter um foco no processo de separação de pedidos do armazém, a autora identificou outras aplicações da simulação no objeto de estudo, como por exemplo, nos terminais de carga da empresa e na análise de malhas de rotas da mesma. Para a autora, a simulação contribui como instrumento de aprendizagem e tomada de decisão sobre a realidade organizacional. Ela afirma ainda que armazéns gerais dotados de gerenciamento automatizado apresentam um grande potencial para o desenvolvimento de projetos de simulação devido a disponibilidade de dados característicos destas organizações.

3.3.3 Simulação no setor de saúde

Os autores Nasser, Eldabi e Jahangirian (2009), baseados em artigos encontrados na literatura, compararam a aplicação da simulação em dois diferentes setores: o setor militar e aeroespacial e o setor de saúde. A conclusão obtida pelos autores é que o setor de saúde está muito aquém de outros setores em termos de envolvimento de *stakeholders*, ou seja, partes interessadas no projeto. Este não envolvimento tem um impacto negativo no nível de utilização da simulação, na implementação de resultados e na apreciação do papel da

simulação no setor de saúde. Estes autores acreditam ainda que esta falta de envolvimento se deva ao fato do setor de saúde ter uma estrutura organizacional, comportamento competitivo, cultura de treinamento e coleta de dados diferente do setor Militar e Aeroespacial.

Joaquim (2005) em seu trabalho utilizou-se da simulação para prever a ampliação no número de salas de cirurgia e mudanças no fluxo das atividades executadas em um centro cirúrgico de um hospital. Para o autor a simulação além de ampliar o conhecimento do que acontece atualmente no centro cirúrgico e prever como o mesmo reagiria diante de algumas mudanças, ainda permitiu a construção de cenários com propostas de melhorias, antes mesmo da implementação de mudanças. Já Ruohonen, Neittaanmäki e Teittinen *et al.* (2006) mostram o uso da simulação a eventos discretos em um departamento médico de emergência.

3.3.4 Simulação e Lean

O sistema Lean é uma abordagem sistemática para identificar e eliminar desperdícios (atividades que não agregam valor), através de melhorias constantes, produtos sendo puxados pelos clientes e busca sempre pela perfeição (NIST-MEP Lean, 2000). Segundo Womack, Jones e Roose (1990), o sistema Lean é um processo disciplinado, orientado para a produção e foca em identificar as principais fontes de desperdícios.

No entanto, somente o sistema Lean não é suficiente para analisar questões sobre sistemas complexos de produção (STANDRIDGE e MARVEL, 2006). Segundo Adams *et al.* (1999) e Mcdonald, Van Aken e Rentes (2002) a simulação computacional a eventos discretos é uma ferramenta adicional adequada para enriquecer as análises por mapeamento do fluxo de valor. Donatelli e Harris (2001) afirmam que uma das principais vantagens da simulação é considerar a evolução do tempo, oferecendo percepções que poderiam ser esquecidas se somente o mapeamento *lean* fosse utilizado.

De acordo com Oliveira *et al.*(2009), a simulação contribui com o mapeamento *Lean* na medida em que providencia um método para incluir variações nos tempos de processos e setups, quantifica resultados de mapas de estado futuro antes mesmo de serem implantados, examinando assim uma variedade de alternativas e acessando os efeitos de interação de componentes de sistemas.

Abdulmalek e Rajgopal (2007) construíram um mapa do estado atual de um determinado sistema, programaram este mapa no simulador Arena® e então utilizaram da animação da simulação para mostrar aos diretores da empresa os dados gerados e a animação do mapa do

estado futuro. Eles ainda desenvolveram um projeto de experimentos para encontrar os fatores significativos para a melhoria do processo.

Já Sandanayake, Oduoza e Proverbs (2008) utilizou da simulação e da modelagem matemática linear para identificar o impacto de direcionadores chaves da filosofia *Just in time* no desempenho de uma linha de montagem de uma indústria automotiva. Ainda no ambiente *lean*, Torga (2007) realizou uma simulação e otimização de um sistema puxado de manufatura.

3.3.5 Simulação no Ensino na Engenharia

Para Chrispim e Werneck (2003), no processo de ensino-aprendizagem é necessário cada vez mais colocar as informações de uma forma mais flexível e uso generalizado, além disso, os conteúdos das informações devem permitir assimilação rápida e eficiente. É neste contexto que se encontra o uso da simulação para facilitar o ensino em engenharia.

Dávalos (2001) avaliou algumas experiências baseadas no uso de recursos computacionais como planilhas eletrônicas, linguagens de programação, o simulador Arena® e pesquisas na internet, como suporte ao ensino de Pesquisa Operacional na Universidade do Sul de Santa Catarina. Segundo o autor, a interface gráfica, os recursos de animação e a facilidade de modelagem destes pacotes de simulação implicaram em uma maior motivação dos alunos em aprender e aplicar esta ferramenta em sistemas estudados no curso.

Já Cardoso (2007) apresenta uma metodologia aplicada aos alunos dos cursos de Engenharia de Produção da Universidade de Vila Velha que utilizaram o software Preactor para programar uma linha real de produção. Os autores consideraram que o software empregado na versão acadêmica se mostrou surpreendente, uma vez que seus recursos visuais, lógicos e estatísticos facilitaram a compreensão dos alunos.

Silva, Pinto e Subramanian (2007), utilizaram o simulador Arena®, na Universidade Federal da Paraíba, como recurso didático na aplicação de conceitos relacionados aos recursos gargalos e balanceamento do fluxo produtivo. Segundo a opinião dos autores, o entendimento destes conceitos pelos alunos não é algo trivial, justificando assim o uso do software como ferramenta de ensino. Estes afirmam ainda que a principal vantagem de um software de simulação como recurso didático é a utilização de animações que promovem uma maior compreensão dos alunos.

Oliveira *et al.* (2009) propuseram a utilização de modelos de simulação computacional a eventos discretos como um recurso didático para o ensino do mapeamento *Lean* em

Engenharia de Produção. Modelos de simulação podem facilitar o processo de ensino-aprendizagem, trazendo também maior motivação aos alunos em aprender conceitos nesta área.

3.4 Estrutura de um projeto de simulação

Assim como demais tipos de projeto, um projeto de simulação computacional a eventos discretos deve ser bem estruturado e planejado. Na literatura, é possível encontrar diversas estruturas que ilustram as etapas a serem seguidas para o desenvolvimento de um estudo completo de modelagem e simulação, como por exemplo, Banks (1998), Chwif e Medina (2006), Law (2006), Montevechi *et al.* (2007) e Sánchez (2007).

Já a estrutura a ser utilizada no desenvolvimento deste trabalho é a uma adaptação da proposta por Montevechi *et al.* (2010), onde os autores apresentam um fluxograma que representa a sequência de passos de um estudo completo de simulação, composto de três etapas principais: concepção, implementação e análise. Entretanto, para o presente trabalho, optou-se pela construção de cenários para o desenvolvimento da etapa de análise do projeto de simulação, conforme pode ser visto na figura 3.1.

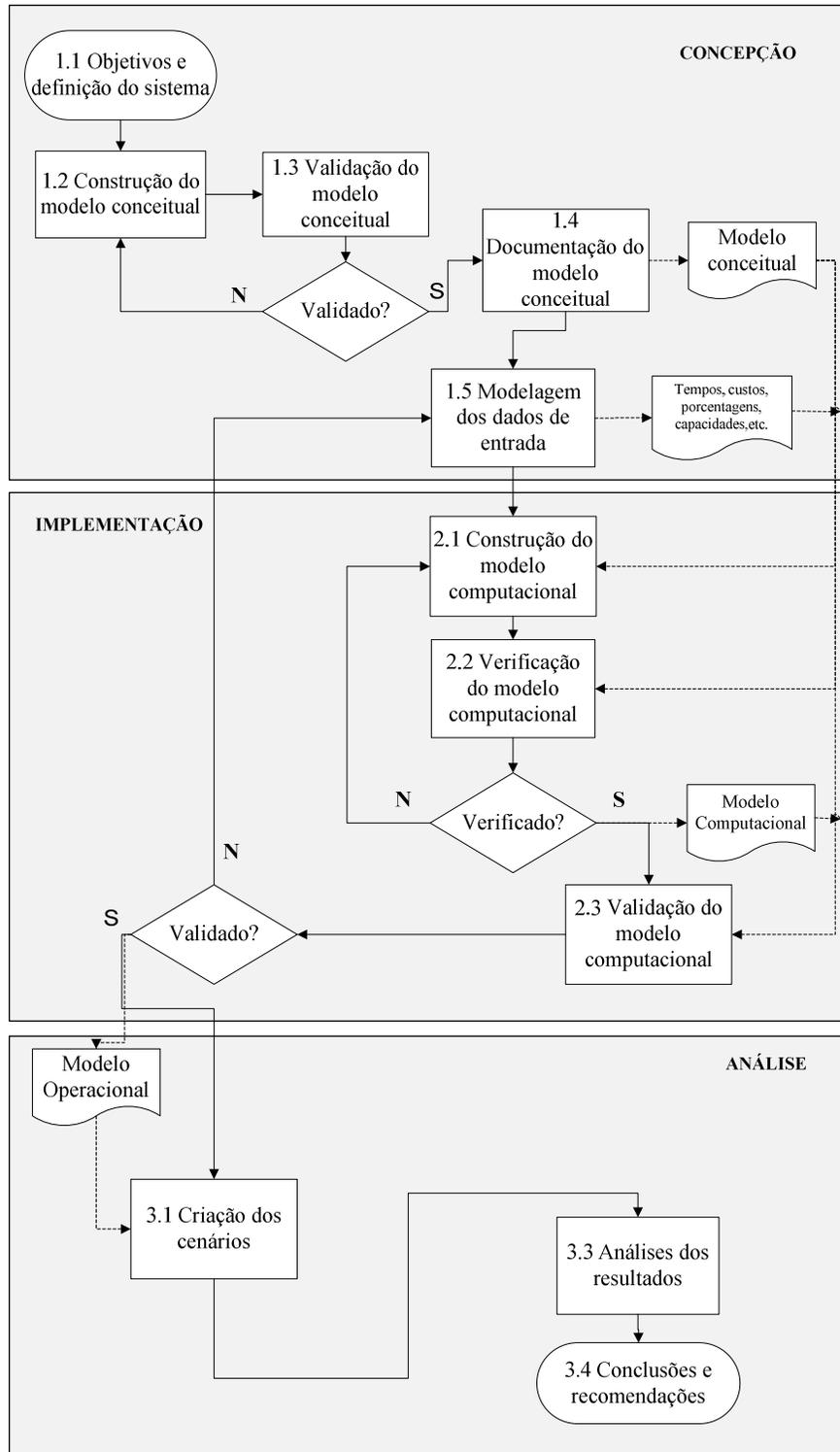


Figura 3.1- Fluxograma de um estudo completo de simulação computacional
 Fonte: adaptado de Montevechi *et al.* (2010)

3.4.1 Etapa de Concepção

A primeira etapa apresentada por Montevechi *et al.* (2010) é a etapa de concepção, onde se tem a construção do modelo conceitual do sistema. Como a modelagem conceitual é um assunto de extrema importância para o presente trabalho, a mesma terá um capítulo específico dentro da revisão de literatura desta dissertação e, portanto, será explicada sucintamente a seguir:

3.4.1.1 Objetivos e definição do sistema

O primeiro passo em um projeto de simulação é definir quais os objetivos a serem alcançados com o desenvolvimento deste projeto e definir ainda qual o sistema a ser simulado para se alcançar estes objetivos. De acordo com Costa *et al.* (2010) o time do projeto é quem define os objetivos específicos e o escopo do modelo a ser construído.

Neste time estão presentes tantos os responsáveis pelo desenvolvimento do projeto de simulação quanto os *stakeholders* deste projeto. A opinião destes *stakeholders* é de grande importância para que se fique bem claro quais os objetivos a serem atingidos com o projeto de simulação a ser desenvolvido.

3.4.1.2 Construção do modelo conceitual

Uma vez definidos os objetivos e o sistema a ser simulado, o próximo passo é a construção do modelo conceitual do sistema. Segundo Chwif e Medina (2006) após a elaboração do modelo abstrato na mente do modelador, o mesmo deve colocar este modelo no papel através de uma técnica adequada de representação de modelos de simulação conceitual.

De acordo com Sakurada e Miyake (2009), a formulação do modelo conceitual compreende o levantamento de suposições sobre os componentes e a estrutura do sistema (inclusive as interações entre os componentes) e as hipóteses sobre os parâmetros e variáveis envolvidas. Todas as informações consideradas no modelo conceitual serão utilizadas na etapa posterior, auxiliando na construção do modelo computacional do sistema a ser simulado.

3.4.1.3 Validação do modelo conceitual

Segundo Sargent (2009), a validação do modelo conceitual é definida como a determinação de que as teorias e suposições presentes no modelo conceitual estão corretas e que a representação da entidade problema é razoável para a finalidade do modelo.

Esta validação do modelo conceitual muitas vezes é feita através da validação face a face, onde especialistas do sistema em estudo consideram se o modelo conceitual representa corretamente o sistema modelado.

3.4.1.4 Documentação do modelo conceitual

Segundo Kotiadis e Robinson (2008) o modelo conceitual muitas vezes não é documentado, permanecendo apenas na mente do modelador e dos proprietários do problema. Os mesmos autores ainda afirmam ser uma boa prática para os modeladores documentar tanto o modelo conceitual do sistema quanto a descrição do mesmo.

Documentar envolve armazenar, catalogar e descrever de maneira funcional o modelo conceitual do processo. Um modelo mal documentado dificulta sua compreensão por parte do cliente além de prejudicar sua aplicabilidade. Já um modelo conceitual bem documentado facilita a etapa posterior de construção do modelo computacional, se torna uma fonte para processo de verificação e validação, além de conter informações que podem ser reutilizadas no mesmo projeto ou ainda em projetos futuros.

3.4.1.5 Modelagem dos dados de entrada

De acordo com Chwif e Medina (2006) o estudo de modelagem pode ser resumido em três etapas:

- Coleta de dados: corresponde ao processo de amostragem. A amostra é um conjunto de valores retirados da população de interesse, utilizada para representar a população no estudo estatístico. O objetivo desta etapa é garantir que a amostra obtida seja a mais representativa possível do fenômeno. Ela se inicia com a escolha adequada das variáveis de entrada do sistema a ser simulado, tomando-se o cuidado para diferenciar quais são dados de entrada (fornecidos ao modelo) e quais são os dados de saída (obtidos do modelo).
- Tratamento dos dados: são utilizadas técnicas para descrever os dados levantados, identificar as possíveis falhas nos valores amostrados e aumentar o conhecimento acerca do fenômeno em estudo. Estas falhas estão relacionadas aos outliers que são valores não usuais cujas causas mais comuns são erros na coleta de dados ou um evento raro e totalmente inesperado. Existem diversos pacotes de uso comercial que podem ser utilizados neste estudo, como por exemplo, o Minitab, e pacotes de

simulação que tem módulos para modelagem de dados, como o Promodel® e o Simul8 que possuem o Stat::fit e o Arena que possui o Input Analyzer.

- Inferência: aplica-se o conhecimento dos cálculos de probabilidades para inferir qual o comportamento da população a partir da amostra. Como resultado tem-se uma distribuição de probabilidades que representara o fenômeno aleatório em estudo e será incorporado ao modelo de simulação.

Os dados coletados neste passo são informações relacionadas a tempo, custo, porcentagens, capacidades, entre outras, que irão alimentar o modelo computacional. De acordo com Sakurada e Miyake (2009) estes dados coletados devem representar bem o comportamento do sistema real não apenas para que a formulação do modelo em si seja bem embasada, mas também porque eles são utilizados em uma fase posterior de validação.

3.4.2 Etapa de Implementação

Tendo em posse dados modelados e o modelo conceitual validado do sistema a ser simulado, pode-se então partir para a etapa de implementação onde o modelo computacional será construído. Este modelo precisa ainda ser verificado e validado, como pode ser visto na sequência de passos relativa a esta etapa.

3.4.2.1 Construção do modelo computacional

O primeiro passo para a construção do modelo computacional é a escolha do software a ser utilizado para este fim. Os softwares de simulação podem ser basicamente agrupados em duas grandes categorias “linguagens de simulação” e “simuladores” (LAW e KELTON, 2000).

De acordo com Sakurada e Miyake (2009) as linguagens de simulação são pacotes computacionais de natureza genérica com características especiais para determinados tipos de aplicação da simulação. Elas oferecem suficiente abertura para gerar modelos de simulação para os mais variados tipos de sistema. Entretanto, estão associadas à necessidade de conhecimentos bastante específicos de programação para a construção de modelos mais complexos. Já os simuladores oferecem vantagens como requerimento de tempo relativamente menor para construção do modelo e maior facilidade de utilização apoiada em menus e gráficos amigáveis. Mas como desvantagem, estes possuem uma menor flexibilidade para representar detalhes do sistema real e restrições para controlar a realização de experimentos sob condições muito específicas.

Para Baldwin, Eldabi e Paul (2005) escolher o pacote correto de simulação é vital. Encontrar o pacote certo é rentável não só em termos monetários, mas também em poupar tempo e esforço que poderiam ser gastos na adaptação de um pacote incorreto. Ainda segundo estes autores, para escolher o pacote correto de simulação é necessário estudar a capacidade do software em modelar um alto nível de detalhes presentes em um processo.

Nunes (2010) apresenta em seu trabalho com os principais softwares de simulação, bem como as respectivas empresas responsáveis, presentes nas tabelas 3.1a, 3.1b, 3.1c e 3.1d.

Software	Empresa / Descrição
Arena <i>(Family)</i>	Rockwell Automation, Inc. www.arenasimulation.com – Arena Basic Edition: Software de simulação concebido para consultores e analistas de negócios. Suporta animação do modelo com uso de figuras importadas de outros ambientes, tais como o Microsoft Viso e AutoCAD; – Arena Professional Edition: voltado para o uso de profissionais com conhecimento em engenharia industrial, cadeia de suprimentos, armazenagem, distribuição, logística e outras áreas de negócios (processos, finanças e administrativo), onde, ao permitir acesso a modelagem de baixo nível (SIMAN [®]), é possível criar modelos com aplicações personalizadas; – Arena Contact Center: apresenta ferramentas direcionadas a modelagem de call 54GI54er; – Arena Factory Analyzer: adaptado para a análise de processos de manufatura, como as indústrias de alimentos, farmacêuticas, eletrônicas, química e outras; – OptQuest for Arena: é uma ferramenta de otimização, onde, automaticamente, é identificado o melhor experimento (cenário) para o sistema em estudo; – Arena 3Dplayer: permite criar e visualizar a animação do modelo em 3D.
AutoMod	Applied Materials, Inc. www.appliedmaterials.com – Este software de simulação está adaptado para modelagem de alta precisão, como também na emulação dos sistemas de controle. A sua interface gráfica é apresentada em 3D e também possui ferramenta para análise da distribuição estatística.

Enterprise Dynamics	<p>Incontrol Simulation Solutions. www.incontrolsim.com</p> <p>– O ED Enterprise Dynamics é um simulador de eventos discretos com aplicações diversas. Contudo, esta empresa oferece softwares para modelagens e otimização de áreas específicas, como logística (ED Logistics), processos produtivos (ED Production), gestão de aeroportos (ED Airport), redes de transportes internos e externos (ED Transport), didática do ensino de simulação (ED Educational) e instrumento para análise da performance global da empresa e apoio as decisões estratégicas (ED Platform).</p>
ExtendSim	<p>Imagine That, Inc. www.extendsim.com</p> <p>– É um tradicional software de simulação fundamentado na modelagem de sistemas diversos. A construção é feita através de setas e blocos que facilitam o seu uso e interpretação.</p>
GoldSim Pro	<p>GoldSim Technology Group. www.goldsim.com</p> <p>– É um tradicional software de simulação para a modelagem dinâmica de sistemas complexos a partir de fluxo com desenhos representativos, apoiando as decisões sobre análise de risco futuros. Os dados como equações podem ser manipulados através de planilhas.</p>
Micro Saint Sharp	<p>Alion Science and Technology. www.maad.com</p> <p>– É um pacote de software de simulação (Crew Station Design Tool – CSDT e Atonomous Vehicle Operator Span of Control Evaluation Tool – AVOSCET) utilizado para modelar, definir os cenários e otimizar os resultados.</p>
Plant Simulation	<p>Siemens Product Lifecycle Management Software, Inc.</p> <p>www.plm.automation.siemens.com</p> <p>– Desenvolvida pela tecnologia Siemens, é uma ferramenta para análise de eventos discretos utilizada para modelar sistemas logísticos e plantas industriais em 3D, possibilitando também a otimização do seu desempenho.</p>

<p>Promodel® (Family)</p>	<p>Promodel® Corporation. www.Promodel.com</p> <ul style="list-style-type: none"> – Promodel®: é um software de simulação de eventos discretos utilizado em aplicações operacionais e gerenciais diversas. Outras características em destaque são: (i) permite a modelagem de processos contínuos, (ii) a animação acontece de forma síncrona ao desenvolvimento e (iii) permitir acesso a modelagem de baixo nível, aumentando a flexibilidade da modelagem; – 56GI56ersão Simulator: permite que as empresas possam gerenciar a sua carteira de projetos, facilitando as tomadas de decisões estratégicas e análise de desempenho sobre as metas estabelecidas; – MedModel: ferramenta de simulação projetada para modelagem e avaliação em sistemas de saúde; – Project Simulator: permite a conexão da tecnologia Promodel® com o Microsoft Project, facilitando a análise dos gestores de projetos; – ServiceModel: ferramenta de simulação projetada para modelagem de empresas prestadoras de serviço, tais como aeroportos, bancos, supermercados e outros; – Process Simulator: permite a conexão da tecnologia Promodel® com o Microsoft Viso, possibilitando a criação de modelos dentro deste ambiente; – Promodel® 3D Animator: utiliza um layout de animação em 3D para os softwares Promodel®, MedModel e SeviceModel; – ED Simulator: ferramenta de simulação projetada para, através de um banco de dados específico, agilizar dinamizar as modelagens em sistemas de saúde, tais como análise do quadro de pessoal, do fluxo de pacientes e da eficiência do atendimento; – Clinical Trials Simulator: ferramenta que dispõe das particularidades presentes em ensaios clínicos; – OptQuest for Promodel® e o SimRunner: são ferramentas de otimização adaptada para os softwares Promodel®, MedModel e ServiceModel.
<p>RENO</p>	<p>ReliaSoft Corporation. www.reliasoft.com</p> <ul style="list-style-type: none"> – Utilizado para a análise complexa de qualquer cenário probabilístico e determinístico, com uma abordagem visual e intuitiva através de fluxograma.

SIMUL8	SIMUL8 Corporation. www.simul8.com – A partir da criação de diversos experimentos operacionais, permite analisar visualmente os sistemas através de simulações interativas.
Lanner (Family)	Lanner. www.lanner.com – WITNESS: software de simulação com flexibilidade para modelagem profissional de ambientes diversos e complexos; – L-SIM: potencializa a capacidade de simular problemas referentes a <i>Business Process Management</i> – BPM; – PRISM: ambiente virtual para simulação de estratégias policiais, tais como gestão do tempo de resposta a chamadas, investigação e treinamento; – Px-SIM: é um simulador que permitiu uma auto-modelagem, reduzindo o tempo de construção e a necessidade de intervenção de um analista externo.

Tabela 3.1– Principais softwares de simulação

Fonte: adaptado de Nunes (2010)

Apesar dos diversos softwares de simulação disponíveis, dar-se-á maior atenção ao simulador Promodel®, por este ser o software escolhido para o desenvolvimento do modelo computacional deste presente trabalho.

O software Promodel® oferece capacidade de modelagem desde pequenas células e locais de trabalho até uma larga produção em massa e sistema flexível de manufatura (DOLOI e FAAFARI, 2002). Segundo Sakurada e Miyake (2009) o Promodel® é um simulador cujas aplicações se desenvolveram inicialmente na simulação de sistemas de manufatura, mas sua flexibilidade de programação permitiu estender sua aplicação a outros tipos de sistemas de operação tais como cadeias de suprimento, organizações administrativas e sistemas de serviço na área de saúde. Os autores afirmam ainda que este simulador oferece funcionalidades que facilitam a programação por meio de uma interface simples, controle do avanço do tempo simulado com noção do calendário e turnos de trabalho, e ainda realização de análises estatísticas.

Cabe ressaltar que independente do software escolhido para simulação, o modelo a ser construído deve ser suficientemente detalhado para captar elementos essenciais e representar o sistema real e ainda ser suficientemente simplificado (abstraído) para ser tratável por métodos de análise e resolução conhecidos (MORABITO e PUREZA, 2010).

3.4.2.2 Verificação do modelo computacional

Verificar um modelo computacional é garantir que o programa computacional e a implementação do modelo conceitual estejam corretos (SARGENT, 2009). É importante que a cada etapa da construção do modelo, o mesmo possa ser verificado para que se houverem erros ou incoerências, estes possam ser imediatamente corrigidos. Alguns softwares possuem sinalizadores, variáveis e contadores que podem ser utilizados na identificação destas incoerências e assim facilitar o processo de verificação.

Para Chwif e Medina (2006) a verificação de modelos de simulação pode ser entendida como a retirada de *bugs* (elementos que estão causando mau funcionamento) do modelo computacional e existem algumas técnicas ou procedimentos que podem ser utilizados para facilitar este processo, como por exemplo:

- Implementação modular/verificação modular: construir o modelo em partes, a cada parte implementada deve-se verificar o modelo. Somente se esta parte estiver aparentemente correta é que se deve passar para a construção da próxima parte, e assim sucessivamente.
- Valores constantes ou simplificados versus cálculos manuais: em um modelo de simulação utiliza-se uma ampla gama de distribuições e probabilidades. Para o uso desta técnica tomam-se os valores médios de cada distribuição e consideram-se estes valores como constantes determinísticos e então se comparam os resultados do modelo com os resultados de uma planilha de cálculo e observa-se se eles coincidem.
- Utilização do *debugger*, *trace* ou depurador: *softwares* de simulação possuem um depurador que faz com a que a simulação ocorra passo a passo e assim é possível visualizar os eventos que estão correndo e eventos futuros, bem como os valores das variáveis do modelo. Este depurador funciona como uma lente de aumento que auxilia na descoberta de erros presentes no modelo.
- Simulação manual: realizar uma simulação manual é uma atividade dispendiosa, mas permite que o analista ganhe uma sensibilidade prévia do comportamento do modelo e assim, quando este implementar o modelo no computador, terá uma percepção maior sobre a correspondência entre modelo conceitual e computacional. Esta técnica não se aplica a modelos muito grandes.
- Animação gráfica: é uma poderosa ferramenta de verificação, pois diagnostica diversos tipos de erros, como por exemplo, entidades que somem do modelo ou seguem a rota errada.

- Revisão em grupo: esta técnica se resume em implementar o modelo e deixar que uma outra pessoa ou grupo verifique onde o modelo não está funcionando adequadamente.

3.4.2.3 Validação do modelo computacional

A validação operacional é definida como a determinação de que o comportamento do modelo simulado detém precisão suficiente para representar o modelo real dentro da aplicabilidade a qual se destina (SARGENT, 2009). Segundo Law (2006) a validação pode e deve ser feita para todos os modelos computacionais, independentemente do sistema modelado.

Se o modelo computacional não é uma aproximação do sistema real, todas as conclusões derivadas deste estarão susceptíveis a erros e poderão resultar em decisões incorretas. Morabito e Pureza (2010) afirmam que o sucesso da solução do problema depende da precisão com que o modelo computacional o representa e ainda da qualidade dos dados de entrada do modelo.

Para Law (2006), validação é o processo de determinar se o modelo de simulação é uma representação exata do sistema, para os objetivos particulares do estudo. Já o modelo e seus resultados têm credibilidade se os tomadores de decisão e outros membros chaves do projeto aceitá-lo como correto. Sendo que credibilidade não significa que o modelo é válido e vice-versa.

Ainda segundo o autor, auxiliam no processo de conferir credibilidade ao modelo a compreensão e concordância dos tomadores de decisão das suposições feitas no modelo, a demonstração da verificação e validação do modelo, o domínio e envolvimento dos tomadores de decisão no projeto, a reputação dos desenvolvedores do modelo e uma animação convincente.

A literatura apresenta diversas técnicas de validação, Sargent (2009) destaca as seguintes técnicas:

- Animação: o modelo operacional do modelo é apresentado mostrando-se graficamente como o modelo se move através do tempo. Pro exemplo, os movimentos de peças através de uma fábrica durante uma rodada de simulação são mostrados graficamente.
- Comparação com outros modelos: diversos resultados gerados pelo modelo computacional podem ser comparados com resultados já conhecidos de modelos analíticos ou ainda com outros modelos computacionais já validados.

- Testes degenerativos: A degeneração do comportamento do modelo é testada pela seleção adequada dos valores de entrada e parâmetros internos. Por exemplo, o número médio na fila de um único servidor continua a aumentar ao longo do tempo, quando a taxa de chegada é maior do que a taxa de serviço?
- Validade de eventos: a ocorrência dos eventos de um modelo de simulação é comparada com o do sistema real para determinar se estas são similares. Por exemplo, comparar o número de incêndios em uma simulação de um departamento de bombeiros.
- Teste de Condição Extrema: a estrutura do modelo e saídas devem ser plausíveis para uma extrema e improvável combinação níveis dos fatores no sistema. Por exemplo, se os estoques em processo são iguais a zero, a saída da produção deveria ser igual a zero.
- Validade de Face: especialistas do sistema são questionados a fim de saber se o modelo e/ou seu comportamento estão razoáveis. Por exemplo, questionar se a lógica do modelo conceitual está correta e se o relacionamento entre entrada e saída do modelo está correto.
- Validação com Dados Históricos: Se existem dados históricos (por exemplo, os dados coletados em um sistema especificamente para construir e testar um modelo), parte destes dados é utilizada para construir o modelo e os dados restantes são usados para determinar (testar) se o modelo se comporta como o sistema.
- Métodos Históricos: Os três métodos históricos de validação são o racionalismo, o empirismo, e economia positiva. Racionalismo pressupõe que todos sabem se as hipóteses assumidas em um modelo são verdadeiras. Deduções lógicas são utilizadas a partir destes pressupostos para o desenvolvimento correto (válido) do modelo. Empirismo exige cada pressuposto e resultado para ser empiricamente validado. A economia positiva exige apenas que o modelo seja capaz de prever o futuro e não se preocupa com suposições de um modelo ou estrutura (relações de causalidade ou mecanismos).
- Validade Interna: Várias repetições (rodadas) de um modelo estocástico são feitas para determinar a quantidade de variabilidade estocástica do modelo. Uma grande quantidade de variabilidade (falta de coerência) do modelo pode causar resultados questionáveis.

- Gráficos operacionais: Valores de diferentes medidas de desempenho, como por exemplo, o número na fila e percentual de servidores ocupados, são mostrados graficamente. O comportamento dinâmico de indicadores de desempenho é mostrado durante a execução do modelo de simulação para garantir que eles se comportam corretamente.
- Análise de Sensibilidade: Esta técnica consiste em alterar os valores das entradas e parâmetros internos de um modelo para determinar o efeito sobre o comportamento deste modelo ou dos resultados. As mesmas relações devem ocorrer tanto no modelo como no sistema real. Esses parâmetros que são sensíveis, ou seja, provocam mudanças significativas no comportamento do modelo ou resultados, devem ser então suficientemente precisos.
- Validação preditiva: O modelo é utilizado para prever o comportamento do sistema e, em seguida, são feitas comparações entre a previsão do modelo e o comportamento do sistema para determinar se eles são os mesmos. Os dados do sistema podem ser provenientes de um sistema operacional ou obtidos através da condução de experimentos no próprio sistema.
- Rastros: Os comportamentos de diferentes tipos de entidades específicas no modelo são rastreados (seguidos) através do modelo para determinar se a lógica do modelo está correta e se a precisão necessária foi obtida.
- Teste de Turing: apresentam-se aos especialistas do sistema modelado os resultados do modelo e resultados do sistema, sem identificar a origem, se eles não conseguirem discriminar os resultados o modelo pode ser considerado validado.

De acordo com Chwif e Medina (2006) outra forma de se atingir praticamente os mesmos objetivos do teste de Turing, mas sem a necessidade de um especialista, é comparar estatisticamente (através da utilização de técnicas estatísticas adequadas de comparação) o resultado do sistema real (dados históricos) com o resultado da simulação.

Para obter um elevado nível de confiança no modelo e em seus resultados, comparações entre as variáveis de saída do modelo e do sistema real são realizadas, sendo que estas comparações podem ser feitas através de comparação gráfica de dados (histogramas, *box plot* ou gráficos de pontos), intervalos de confiança e teste de hipóteses (SARGENT, 2008).

Segundo o mesmo autor, no processo de validação do modelo computacional, o teste de hipóteses pode ser usado para comparar médias, variâncias, distribuições e series de tempo de

variáveis de saída de um modelo e de um sistema para cada conjunto de condições experimentais para determinar se o comportamento dos resultados do modelo tem uma variação de precisão aceitável. Assim considera-se:

H_0 : Modelo é válido para uma variação de precisão aceitável sob o conjunto de condições experimentais.

H_1 : Modelo não é válido para uma variação de precisão aceitável sob o conjunto de condições experimentais.

Procedimentos de teste de hipóteses usam informações de uma amostra aleatória proveniente de uma população de interesse. Se essa informação for consistente com a hipótese, então se conclui que a hipótese é verdadeira. Se esta informação for inconsistente com a hipótese conclui-se que a hipóteses é falsa. A estrutura de problemas de teste de hipóteses será idêntica em todas as aplicações consideradas. A hipótese nula é que devemos testar. A rejeição da hipótese nula sempre leva a aceitação da hipótese alternativa (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

De acordo com Chwif e Medina (2006) não há como garantir que um modelo seja 100% válido, o que se consegue com a validação é aumentar a confiança no modelo, considerando que o mesmo representa satisfatoriamente o sistema. Para Sargent (2008), a precisão a ser alcançada por um modelo deve ser definida no início do processo de desenvolvimento, já que quanto maior for sua confiança, maior também será o custo e o tempo despendido em sua validação.

3.4.3 Etapa de análise

Nesta última etapa do um projeto de simulação, a etapa de análise, o modelo computacional validado, chamado agora de modelo operacional, está apto para receber diversos experimentos. No caso do fluxograma original proposto por Montevechi *et al.*(2010) nesta etapa realiza-se o projeto de experimentos (*Design of experiments-DOE*) que são testes conduzidos de forma planejada, onde os fatores são alterados de modo a avaliar-se seu impacto sobre uma resposta.

Kleijnen *et al.* (2005) afirmam que muitos praticantes de simulação podem conseguir mais de suas análises por usar a teoria estatística de planejamento de experimentos desenvolvida especificamente para explorar modelos computacionais. Alguns trabalhos como Costa *et al.* (2009) e Nazzal, Mollaghasemi e Anderson (2006) exploram o uso de projeto de experimentos na etapa de análises.

Entretanto, de acordo com Montgomery e Runger (2003) o experimento pode ser visto como um teste, ou um conjunto de testes, no qual mudanças propostas são aplicadas em variáveis de entrada de um processo ou sistema, para assim observar e identificar mudanças ocorridas em variáveis de saída. Portanto, para o desenvolvimento deste trabalho, os experimentos a serem realizados no modelo operacional estão relacionados à construção de cenários para se analisar as reações do sistema em estudo sob algumas possíveis mudanças.

3.4.3.1 Definição e construção dos cenários

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 aconselhável tirar conclusões com uma única réplica da simulação.

Ao se definir cada cenário, o time do projeto deve ter em mente quais variáveis de entrada deverão ser alteradas e ainda quais variáveis de saída serão analisadas com estas alterações. Cabe lembrar que os cenários devem ser construídos com a finalidade de alcançar aos objetivos já identificados no primeiro passo do projeto de simulação.

Outra consideração de grande importância antes de se construir os cenários é apresentar aos interessados na simulação do sistema as propostas relacionadas a cada cenário, identificando claramente quais seriam as principais mudanças a serem realizadas. Assim, consegue-se saber antes mesmo de construir os cenários, se os interesses dos *stakeholders* estão sendo atendidos.

Definidos os cenários, realiza-se a experimentação, ou seja, a execução da simulação para gerar dados desejados e análises de sensibilidade (EHM, MCGINNIS e ROSE, 2009). Uma das grandes vantagens da simulação é a possibilidade de se construir diversos cenários sem a necessidade de realizar estes experimentos na prática. Para Donatellis e Harris (2001), a simulação não somente testa idéias mais fácil, econômica e rapidamente, como também fornece avaliações imediatas das mudanças propostas para o sistema.

3.4.3.2 Análise dos resultados

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. Pacotes comerciais de simulação já possuem diversas facilidades para a construção de cenários e o tratamento estatístico dos resultados. Vale ressaltar que boas análises permitem melhores condições e maior segurança para a tomada de decisão.

3.4.3.3 Conclusões e recomendações

Todas as conclusões e recomendações geradas pelas análises dos resultados do projeto de simulação devem ser entregues de forma clara e ordenada aos membros-chaves do projeto para que este material possa auxiliar no processo de tomada de decisão.

Segundo Chwif e Medina (2006) um projeto de simulação só está completo com a apresentação de um relatório técnico, capaz de sintetizar as principais conclusões de um projeto de simulação, e a documentação completa deste projeto.

3.5 Considerações Finais

Diversos autores ilustram que a simulação computacional tem se tornado uma das ferramentas mais utilizadas para análise de sistemas complexos de manufatura, sejam em projetos atuais ou ainda em novos sistemas, fornecendo assim uma melhor base para tomadas de decisão.

A simulação computacional a eventos discretos tem sido bastante utilizada na manufatura para resoluções de problemas, análises de sistemas e como auxílio a planejamento estratégico. Apesar do seu grande uso na área de manufatura, pode-se encontrar exemplos da aplicação da simulação em setores públicos, de saúde, em cadeias logísticas, entre outros. Ela tem encontrado ainda uma abertura na área de ensino, auxiliando, principalmente através da animação, a desenvolver uma maior compreensão de conceitos a serem lecionados.

Uma das justificativas para o crescente uso da simulação, especialmente na manufatura, está relacionada à ampla gama de vantagens que a mesma oferece, principalmente por permitir analisar sistemas sob diversas condições, sem grandes riscos físicos ou ainda elevados custos envolvidos. Entretanto, alguns autores alertam que um projeto de simulação requer um treinamento especial e que o mesmo pode ainda ter resultados de difícil interpretação e levar um tempo excessivo, envolvendo assim maiores custos.

Um projeto de simulação computacional bem estruturado e desenvolvido pode evitar ou minimizar tais problemas e, dentro deste contexto, autores como Banks (1998), Chwif e Medina (2006), Law (2006), Montevechi *et al.* (2007), Sánchez (2007) e Montevechi *et al.*

(2010) apresentam uma metodologia a ser seguida para o desenvolvimento de um projeto de simulação a eventos discretos.

Apesar de todos os passos de um projeto de simulação serem bem definidos, uma das etapas presentes em um estudo de simulação por muitas vezes não recebe a devida atenção, a etapa de modelagem conceitual. Diversos autores discutem esta questão afirmando que a modelagem conceitual é uma das etapas mais importantes do projeto, porém a que recebe menos atenção e também a menos compreendida. Esta e demais considerações sobre este assunto serão abordadas no próximo capítulo desta dissertação.

Capítulo 4-Modelagem Conceitual

A Modelagem conceitual tem sido reconhecida como um passo crítico que afeta diretamente a qualidade e a eficiência dos projetos de simulação. Uma modelagem conceitual bem realizada reduz significativamente as barreiras da comunicação, diminui o tempo de projeto e ainda melhora a qualidade da simulação (ZHOU, ZHANG e CHEN, 2006).

O objetivo deste capítulo é apresentar uma revisão bibliográfica de uma etapa de grande importância, porém pouco abordada, em projetos de simulação, a etapa de modelagem conceitual. Pretende-se assim, demonstrar a definição de modelo conceitual segundo alguns autores, além de apresentar a importância desta etapa para a simulação computacional. Pretende-se ainda apresentar algumas técnicas utilizadas na construção de modelo conceitual, com destaque para a técnica de modelagem IDEF-SIM, cuja análise desta está relacionada a um dos objetivos deste trabalho.

Antes de definir a etapa de modelagem conceitual, é importante apresentar certa divergência de alguns autores com relação ao nome dado a esta atividade de criação do modelo conceitual. Autores como Fulscher e Powell (1999), Greasley (2006), Kumar e Phrommathed (2006) consideram em seus trabalhos que foi realizado um mapeamento de processo antes da construção do modelo computacional. Já autores como Perera e Liyanage (2000), Robinson (2006), Ryan e Heavey (2006) e Rosemann (2006) adotam o termo modelagem de processos. Segundo este último autor, o termo modelagem tem sido bastante utilizado por analistas de processos e este está relacionado a técnicas mais disciplinadas, padronizadas, consistentes e mais “maduras” cientificamente.

Para Leal (2008) o termo “mapeamento de processos” tem sido trocado por “modelagem de processos”. O mesmo considera que a modelagem de processos aborda técnicas cujo objetivo é a obtenção de um modelo que represente de forma satisfatória a realidade. Portanto, o uso de técnicas como fluxograma IDEF, DFD, entre outros, corresponde a uma modelagem, porém de forma estática. Este tipo de representação pode ser considerado uma modelagem através de mapeamento de processos.

Para este trabalho será considerado o termo modelagem conceitual para nomear a atividade de construção de um modelo conceitual, modelo este que irá auxiliar no processo de construção de um modelo computacional.

4.1 Definição de modelagem conceitual

Apesar de, segundo Robinson (2006), a noção de modelagem conceitual ser vaga, indefinida e com várias interpretações do seu significado, alguns autores apresentam definições desta etapa, definições estas que serão ilustradas a seguir.

Sargent (2008) explica a diferença entre modelo conceitual e modelo computacional. Segundo o autor, modelo conceitual é a representação matemática, lógica ou verbal de um problema, enquanto que modelo computacional é a implementação deste modelo conceitual no computador. O modelo conceitual é desenvolvido através de fases de análises e modelagem, já o modelo computacional através das fases de programação computacional e implementação.

Segundo Kotiadis e Robinson (2008) a modelagem conceitual é o processo de abstrair um modelo do mundo real. Primeiramente, o modelador é apresentado à situação problema que será submetida à simulação, depois ele deve determinar quais os aspectos do mundo real deve incluir e excluir do modelo e qual o nível de detalhe para cada aspecto do mesmo. Essa decisão deve ser um acordo entre o modelador e os *stakeholders*. Os autores afirmam ainda que o processo de modelagem conceitual requer decisões a serem tomadas com relação ao escopo, nível de detalhes, suposições a serem feitas sobre o mundo real e simplificações a serem feitas sobre o modelo.

Para Robinson (2008) o modelo conceitual é uma descrição específica do modelo computacional, independente do software de simulação, que descreve objetivos, entradas, saídas, conteúdo, suposições e simplificações do modelo. Já para Nunes (2010) a etapa de modelagem conceitual propicia a identificação dos principais componentes do sistema, além de fundamentar o desenvolvimento do modelo computacional.

O modelo conceitual é uma abstração ou simplificação da realidade (CHWIF E MEDINA, 2006). Segundo os mesmos, abstrair significa identificar o que realmente é importante no sistema e trazer para o modelo, sendo que esta abstração está fortemente relacionada com os objetivos da simulação. Após elaboração do modelo abstrato na mente do modelador, este deve colocar o modelo no papel através de uma técnica adequada de representação de modelos de simulação conceitual.

Segundo Robinson (2008) o modelo conceitual consiste de quatro componentes principais: objetivos, entradas, saídas e conteúdo do modelo. Os objetivos podem ser divididos em objetivos da modelagem e objetivos gerais do projeto. Já as entradas estão relacionadas aos

elementos que podem ser alterados para efeito de melhorias ou um melhor entendimento e as saídas dizem respeito aos resultados reportados a um modelo de simulação. Com relação ao conteúdo, este consiste em componentes e suas conexões que são representadas no modelo. A seguir na figura 4.1, tem-se a representação do modelo conceitual em um projeto de simulação, bem como seus componentes.

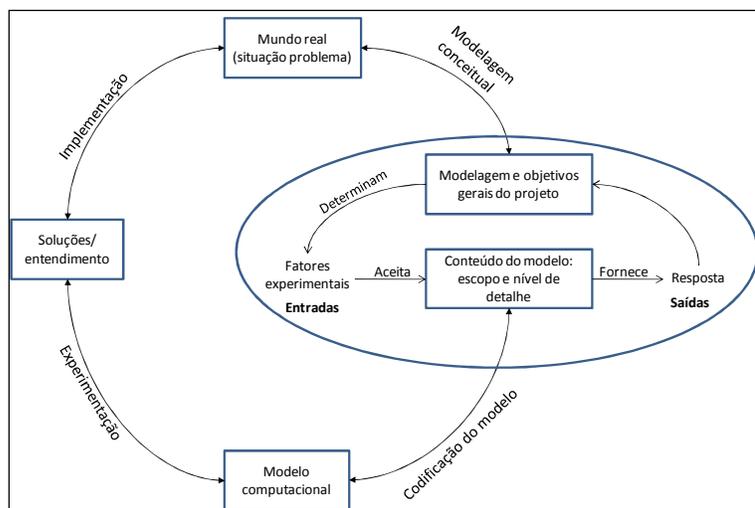


Figura 4.1- Modelo Conceitual em um projeto de simulação
Fonte: Adaptado de Robinson (2008)

4.2 Importância de se modelar processos

A construção de um modelo conceitual impacta em todos os aspectos de um estudo de simulação, principalmente na coleta de dados, velocidade com que o modelo vai ser desenvolvido, validação do modelo, velocidade da experimentação e confiança nos resultados (ROBINSON, 2008). De acordo com Brooks e Robinson (2001), um modelo conceitual pode orientar a etapa de coleta de dados, de forma a definir os pontos de coleta, além de agilizar o processo de elaboração do modelo computacional.

Para Balci (2003), o modelo conceitual pode ser utilizado como uma ferramenta de controle da modelagem e exigências do processo de simulação, a fim de avaliar os conceitos de simulação, efetividade e erros, como uma base para projetos de modelagem e simulação além de auxiliar no processo de verificação e validação do modelo computacional.

A importância da modelagem conceitual justifica-se pela ampla visualização do sistema e maturação do projeto que, por sua vez, repercutirão na agilidade para a construção do modelo computacional e no aumento da confiabilidade dos resultados gerados com as

experimentações (NUNES, 2010). De acordo com Kotiadis e Robinson (2008), nos últimos anos muitos analistas e modeladores de simulação aumentaram o interesse pelas técnicas de modelagem conceitual, onde, além da eficiência na abstração do modelo, busca-se gerar ou amadurecer os conhecimentos referentes ao sistema estudado.

Ryan e Heavey (2006) descrevem que o processo de modelagem conceitual, por oferecer uma arquitetura detalhada de diversos níveis do sistema, facilita a coleta, registro e transmissão de informações e assim auxilia na comunicação entre os agentes envolvidos com o desenvolvimento do projeto de simulação. Os mesmos autores destacam que o modelo conceitual deve ser estabelecido como fase inicial nos projetos de simulação, desmistificando a idéia de que a principal etapa é a construção do modelo computacional.

Apesar da grande importância da modelagem conceitual, destacada pelos citados autores, esta etapa nem sempre recebe a devida atenção em projetos de simulação computacional. Chiwf e Medina (2006) afirmam que o passo de criação do modelo conceitual é o mais importante aspecto no estudo de simulação, embora muitos livros e analistas pulem esta etapa. Wang e Brooks (2007) afirmam que de todas as tarefas envolvidas em um projeto de simulação, a modelagem conceitual é a provavelmente a que receber menos atenção e conseqüentemente a menos compreendida.

Embora a modelagem conceitual seja vital, é o mais difícil e menos compreendido estágio no processo de modelagem (ROBINSON, 2006). Para os autores Zhou, Zhang e Chan (2006), a construção do modelo conceitual é o menos compreendido e pobremente formalizado passo e tem sido dada pouca atenção a este passo na prática.

De acordo com Aigner *et al.* (2007), as dificuldades existentes na representação conceitual de um sistema dinâmico são muitas, a começar pela descrição do grande volume de dados existentes em problemas complexos, como as variedades nos tempos e regras estabelecidas. Já Montevechi *et al.* (2010) acreditam que uma provável causa desta falta de atenção oferecida à modelagem conceitual é o uso de técnicas de modelagem conceitual que não ofereçam vantagens suficientes para a modelagem computacional, desmotivando assim cuidados especiais com o modelo conceitual.

Para Robinson (2008) esta falta de atenção está relacionada ao fato de que modelagem conceitual é mais uma arte do que uma ciência, e assim é difícil definir métodos e procedimentos. A fim de contornar este problema, diversos autores têm buscado estruturar uma metodologia para projetos de simulação, incluindo conseqüentemente uma metodologia a

ser seguida para a etapa de modelagem conceitual. Entretanto, ir-se-á dar destaque a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho, proposta por Montevechi *et al.* (2010).

4.3 Metodologia da etapa de modelagem conceitual

Um importante passo para que se tenha uma modelagem conceitual eficiente é seguir uma metodologia bem estruturada. No capítulo anterior referente à simulação computacional, pode-se perceber que Montevechi *et al.* (2010), ao descrever as etapas de um projeto de simulação computacional, afirmam que uma vez definidos os objetivos e o sistema a ser modelado, o modelo conceitual deve ser construído, validado e documentado, como pode ser visto na figura 4.2.

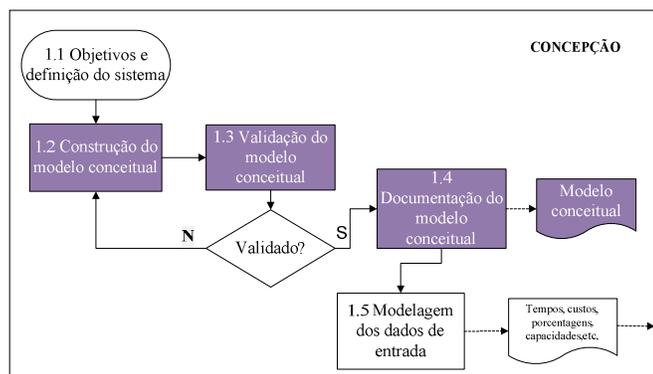


Figura 4.2 – Etapa de concepção de um projeto de simulação
Fonte: adaptado de Montevechi *et al.* (2010)

Estes passos já foram sumariamente apresentados no capítulo anterior, mas ir-se-á ilustrá-los novamente de uma forma mais detalhada.

4.3.1 Construção do modelo conceitual

Segundo HARREL *et al.* (2002) o processo de formulação de um modelo conceitual pode iniciar com um esboço simplificado que, a partir do amadurecimento investigativo, atingirá uma estrutura conceitual com maiores proporções e complexidades. Ainda segundo os autores, esses modelos facilitam a visualização e o detalhamento do sistema em análise, permitem a introdução de novos fluxos e interações, e ainda auxilia no processo de validação, documentação e comunicação.

De acordo com Chung (2004) é importante para o modelador familiarizar-se com o sistema a ser modelado, antes da construção do modelo conceitual propriamente dito. Na maioria dos

casos o modelador não tem o conhecimento do sistema quando comparado com o conhecimento dos gerentes, especialistas do processo e os trabalhadores.

A estrutura do modelo conceitual deverá ser desenvolvida de forma que facilite a abstração, visualização e interpretação dos elementos do sistema (SARGENT, 2008). O autor ainda afirma que uma estrutura bem desenvolvida possibilita a progressão ordenada do estudo, onde todas as funções e variáveis disponíveis no ambiente real, interconexões e regras estabelecidas, serão investigadas e representadas através de esquemas, pseudocódigos e/ou descrições verbais.

Robinson (2006) afirma que o requisito primordial para um modelo conceitual efetivo é a necessidade de desenvolver modelos mais simples possíveis, uma vez que modelos simples são desenvolvidos mais rapidamente, são mais flexíveis, requerem menos dados, geram resultados mais fáceis de serem interpretados, desde que a estrutura deste modelo seja bem entendida.

Zhou, Zhang e Chen (2006) propõem que a utilização da automação para auxiliar na melhoria dos resultados da construção de modelos conceituais em projetos de simulação. Já Chwif, Paul e Barreto (2006) propõem uma técnica para redução da complexidade de modelos computacionais já na fase de modelagem conceitual.

Para Robinson (2008) um modelo conceitual deve apresentar quatro principais requisitos:

- Validade: uma percepção por parte do modelador de que o modelo conceitual pode ser desenvolvido dentro de um modelo computacional por ser suficientemente preciso para determinada proposta;
- Credibilidade: uma percepção por parte dos clientes de que o modelo conceitual pode ser desenvolvido em um modelo computacional por ser suficientemente preciso para determinada proposta;
- Utilidade: uma percepção por parte do modelador e dos clientes de que o modelo conceitual pode ser desenvolvido dentro de um modelo computacional porque auxilia a tomadas de decisão dentro de um contexto especificado;
- Praticabilidade: uma percepção por parte de modeladores e clientes de que o modelo conceitual pode ser desenvolvido dentro de um modelo computacional com tempo, recurso e dados disponíveis;

4.3.2 Validação do modelo conceitual

Sargent (2008) aponta a necessidade da atividade de validação desde a fase de modelagem conceitual. Segundo o autor existem dois tipos de suposição do modelo conceitual: suposições estruturais (relacionadas à operação do sistema no mundo real) e suposições de dados. O primeiro tipo pode ser validado através de observações do sistema do mundo real e discussões com o pessoal especializado no sistema. Ele ainda afirma que ninguém conhece tudo sobre o sistema, portanto muitas pessoas devem ser consultadas na validação das suposições do modelo conceitual.

Na modelagem conceitual a validação segue um caminho mais subjetivo através da percepção de especialistas e modeladores. A literatura apresenta algumas técnicas de validação do modelo conceitual, tais como:

- Duplicação de modelo: é uma prática eficiente, porém dispendiosa porque supõe a existências de dois times independentes para a construção do modelo conceitual do mesmo sistema. Desta forma, se os times (operando independentemente) apresentarem modelos similares seria um bom indicador de validade do modelo (CHIWF E MEDINA, 2006);
- Comparação com modelos anteriores: desenvolvimento de um modelo com base em um modelo já validado anteriormente (CHIWF E MEDINA, 2006);
- Validação face a face: discussão com especialistas com o objetivo de alcançar com estes especialistas a segurança para usar o modelo (aplicado em modelo conceitual e operacional) (CHWIF E MEDINA, 2006; KLEIJNEN, 1995; SARGENT, 2008)

4.3.3 Documentação do modelo conceitual

Uma vez criado e validado o modelo conceitual, o mesmo deve ser documentado para que se tenha assim uma fonte para futuras consultas, identificação de melhorias e ainda o registro de dados importantes a serem utilizados na etapa de construção do modelo computacional. Para Jeong, Wu e Hong (2009) a informação coletada e extraída do sistema real deveria ser sistematicamente representado e armazenado para reutilização futura na forma de descrições formatos sistemáticos.

Ryan e Heavey (2006) acreditam que a melhoria no processo de criação do modelo conceitual depende da adoção de medidas que potencializem o registro e comunicação dos dados abstraídos pelo modelador, repercutindo na documentação detalhada do funcionamento do sistema, assim informações cruciais não são descartadas após a implementação do modelo

computacional. Carson (2004) afirma que os elementos relevantes do sistema devem ser registrados em um documento visual e genérico, ou seja, apresentando uma linguagem conceitual que possa ser implementada.

4.4 Eficiência da etapa de modelagem conceitual

Seguir fielmente os passos de construção, validação e documentação aumenta a possibilidade de uma etapa de modelagem altamente eficiente. Segundo Harrel *et al.* (2002), apesar de cada projeto de simulação apresentar particularidades que o caracteriza como exclusivo, a adoção de uma metodologia que conduza o analista no desenvolvimento do modelo computacional, poderá reduzir os riscos com a geração de resultados insatisfatórios.

Já para Robinson (2006) desenvolver um modelo conceitual eficiente exige a adoção de alguns cuidados por parte do modelador, tais como:

- Definir um modelo conceitual que se ajuste a dinâmica do problema e ao objetivo almejado;
- Devem-se abordar os princípios de modelagem, além da disciplina de trabalho e criatividade do modelador, os métodos de simplificação e os frameworks de modelagem e reproduzir os principais elementos do sistema em estudo;
- Verificar as perspectivas do cliente e a compreensão do modelador para que não haja incoerência na comunicação;
- Desenvolver um modelo diagramático de fácil interpretação, considerando que o leitor pode não ser um especialista no assunto;
- Simplificar a complexidade de um sistema sem perder a sua representatividade;
- Qualificar o modelo relacionando-o com sua validade, credibilidade, utilidade e viabilidade;
- Validar o modelo através da análise do cumprimento das terminologias estabelecidas para a diagramação e da verificação do atendimento a representação do sistema proposto;
- Criar metodologias para a capacitação de novos modeladores nos instrumentos adotados;

Um modelo eficiente pode estar relacionado com a capacidade do analista em identificar as partes e restrições do sistema que, verdadeiramente, necessitam de investigação e tratamento (HARREL *et al.*, 2002). A eficiência de uma etapa de modelagem também está relacionada à

escolha correta da técnica de modelagem a ser utilizada. Segundo Perera e Liyanage (2000) o uso correto de técnicas de modelagem na fase de concepção aumenta a qualidade dos modelos de simulação e diminui o tempo de construção exigido para construção destes modelos.

4.5 Técnicas de representação de modelos conceituais

A dificuldade da escolha de técnicas para se mapear processos, apresentada no capítulo 1 deste trabalho, também é encontrada na escolha de técnicas para se construir modelos conceituais na etapa de concepção de um projeto de simulação. Para Hernandez-Matias *et al.* (2008) não existe um único método de modelagem que possa modelar completamente um processo complexo de manufatura.

Os autores Ryan e Heavey (2006) afirmam que não existe nenhuma técnica de modelagem que ofereça suporte suficiente a projetos de simulação. Como resultado das limitações destas técnicas, diferentes métodos integrados de modelagem têm sido desenvolvidos (HERNANDEZ-MATIAS *et al.*, 2008).

Exemplos destes métodos integrados podem ser encontrados em trabalhos como o de Jeong (2000) que utilizou o IDEF0 e o IDEF3 no desenvolvimento de uma simulação visando à otimização de um sistema de sequenciamento. Já Perera e Liyanage (2000) utilizaram o IDEF0 e o IDEF1X para auxiliar na coleta de dados de entrada para a simulação de sistemas de manufatura e Jeong, Wu e Hong (2009) utilizaram conjuntamente as técnicas IDEF0, IDEF3 e IDEF1X para auxiliar na coleta de dados em um projeto de simulação.

Leal *et al.* (2007) fizeram adaptações da técnica IDEF0 para simular uma linha de produção do setor automotivo. Segundo os autores a técnica não apresenta nenhum símbolo relacionado a transporte, informação importante a ser apresentada na construção do modelo computacional. Já Montevechi *et al.* (2008) utilizaram três diferentes técnicas, SIPOC, fluxograma e IDEF0, para reunir todas as informações necessárias à construção do modelo computacional de uma célula de uma empresa de alta tecnologia. Enquanto que Mello (2008) utilizou-se das técnicas SIPOC, *Blueprint* e fluxograma para modelar o sistema atual de uma linha de produção do setor de autopeças.

Existem ainda trabalhos que destacam a importância da etapa de modelagem conceitual, mas não utilizam nenhuma técnica específica para a construção deste modelo, como Boeira (2008), ou ainda não especificam nem apresentam o modelo construído como Castilho (2004). Jeong, Wu e Hong (2009) afirmam que a prática da construção de modelos sem uma

abordagem metodológica gera modelos incorretos, principalmente pela falta de comunicação e abstração imprópria do modelo.

Ryan e Heavey (2006) apresentam em seu trabalho vantagens e desvantagens do uso de algumas técnicas existentes na literatura na construção de modelos conceituais em projetos de simulação computacional. A análise de algumas destas técnicas se encontra na tabela 4.1 a seguir.

Técnicas	Vantagens	Desvantagens
Redes Petri	Em forma de grafos, com suas posições, transições e arcos, esta técnica permite a reprodução gráfica e matemática da lógica presente em eventos discretos.	Não descrevem visualmente ramos lógicos complexos ou modelos de decomposição hierárquica complexa, se tornando confuso com aumento da complexidade do sistema.
IDEF0	Possibilita a criação de modelos de fácil interpretação e com capacidade de desdobramento. Demonstra os elementos funcionais de um sistema, como a interação entre as atividades de um processo produtivo e os seus elementos.	Não relata ramificações do sistema, elaboração textual de modelos gráficos, fluxo de estado ou ainda a modelagem de uma perspectiva do usuário.
IDEF3	Possui elementos lógicos que buscam criar uma dinâmica na figuração dos eventos e atividades do sistema. Fornece formulários para a padronização do detalhamento e registro das informações sobre o modelo conceitual.	Representa textualmente modelos gráficos com uma linguagem abstrata. Não relata fluxo de informação ou a modelagem da perspectiva do usuário.
UML	Possibilita que as atividades sejam ordenadas em fluxo para representar as várias etapas de um sistema discreto. Apresenta facilidade na interpretação visual, melhorando a comunicação entre os modeladores e usuários.	Não representa fluxo de informação, recursos, atividades ou uma forma de elaborar o modelo gráfico textualmente.
<i>Role Activity Diagrams</i>	Possibilita que o usuário participe ativamente na construção do modelo, demonstrando as suas perspectivas e necessidades. A lógica do modelo pode ser facilmente ilustrada.	As representações das variáveis do sistema, a disponibilidade de informações e as interações com as funções e recursos são ineficazes.

Tabela 4.1– Vantagens e desvantagens de determinadas técnicas de construção de modelos conceituais

Fonte: adaptado de Ryan e Heavey (2006)

Dentro do contexto de que as técnicas presentes na literatura não oferecem suporte suficiente a projetos de simulação, principalmente porque não foram criadas para este fim, alguns autores tem desenvolvido técnicas de modelagem com foco específico em projetos de simulação.

Para Ryan e Heavey (2006) técnicas de modelagem com foco em simulação a eventos discretos devem atender aos seguintes requisitos:

- Devem ser capaz de capturar uma descrição detalhada de um sistema de eventos discretos
- Devem ter uma baixa carga de modelagem, permitindo assim ser entendida por não especialistas
- Devem apresentar informação de modelagem em um alto nível semântico para que qualquer pessoa possa racionalizar com ela
- Devem ter boa visualização das capacidades
- Devem oferecer suporte ao time do projeto de simulação

A técnica escolhida para o modelo conceitual deve ser completa o suficiente para atender aos seus objetivos, mas ao mesmo tempo deve ser de fácil entendimento. A experiência mostra que técnicas de mapeamento complexas deixam de cumprir seus objetivos, tornando-se impraticáveis (LEAL *et al.*, 2007).

Leal (2008) acredita que um detalhamento exagerado do modelo conceitual pode torná-lo de difícil construção e entendimento. E, ainda segundo ele, deve-se evitar a elaboração de uma técnica de modelagem conceitual totalmente voltada às características operacionais de um determinado software de simulação

A seguir serão apresentados três exemplos de técnicas com foco específico em simulação, as técnicas ACD, SAD e IDEF-SIM, sendo esta última a técnica de modelagem conceitual a ser analisada neste trabalho.

4.5.1 Activity Cycle Diagram - ACD

O *Activity Cycle Diagram*, ou Diagramas do Ciclo de Vida, é uma técnica para a representação da interação das entidades dentro de um sistema, particularmente útil em sistemas com fortes características de geração de filas. As entidades alternam seu estado dentro de um ciclo, entre atividades e esperas (CHWIF, PAUL E BARRETO, 1999).

Para Chwif e Medina (2006), o ACD é uma forma de modelagem das interações dos objetos pertencentes a um sistema. A técnica utiliza somente dois símbolos que descrevem um ciclo de vida das entidades ou de objetos do sistema, uma circunferência que representa uma fila e um retângulo que representa uma atividade. Para exemplificar a técnica, estes autores ilustram o caso dos filósofos famintos que será descrito a seguir.

No exemplo dos filósofos famintos, representado na figura 4.2, alguns filósofos sentam numa mesa circular e entre cada par de filósofos existe um garfo. Um filósofo só pode comer se ambos os garfos adjacentes a ele estiverem disponíveis, senão o mesmo deve aguardar. Após comer, o filósofo pensa por um tempo, após pensar ele tenta comer novamente. Os estados de cada entidade do sistema estão representados na tabela 4.2.

Entidade	Estado	Símbolo
Garfo	É utilizado	
	Esperando	
Filósofo	Comendo	
	Esperando pensar	
	Pensando	
	Esperando comer	

Tabela 4.2 – Simbologia e estado das entidades utilizadas no exemplo dos filósofos

Fonte: Chwif e Medina (2006)

Quando o filósofo está comendo, o garfo é utilizado simultaneamente, portanto a atividade “come” é uma atividade comum entre as entidades garfo e filósofo. Assim, tem-se uma união dos ciclos individuais destas duas entidades, representados no ACD da figura 4.3.

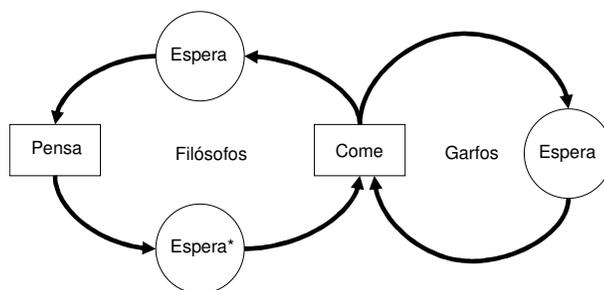


Figura 4.3 – Transição do estado das entidades segundo a técnica do ACD.
Fonte: Chwif e Medina (2006)

No caso deste ACD, o filósofo não precisa esperar para pensar. Mas de acordo com as regras do ACD, tem-se obrigatoriamente que alternar atividades com filas, portanto a fila “Espera” antes de pensar deve ser representada.

O ACD apresenta elementos que podem ser utilizados na representação da lógica presente nos eventos discretos, como a dinâmica das entidades em função do tempo de execução (distribuição estocástica). Entretanto, apresenta limitações de semântica e sintaxe para descrever as informações relevantes do modelo (RYAN E HEAVEY, 2006).

Para Chwif e Medina (2006), as vantagens de se utilizar o ACD na construção de modelos conceituais são a simplicidade, pois é possível desenvolver um modelo de simulação conceitual a partir de dois símbolos, a habilidade de mostrar explicitamente as interações entre objetos do sistema e seus fluxos e o fácil entendimento e utilização. Por outro lado, eles acreditam que os modelos se tornam ininteligíveis à medida que se aumenta a complexidade e é difícil capturar toda a lógica do modelo no formato ACD.

4.5.2 Simulation Activity Diagrams - SAD

A técnica SAD (*Simulation Activity Diagrams*), criada por Ryan e Heavey (2006), representa graficamente todo evento em um sistema de eventos discretos, sendo que cada evento é representado no SAD por uma atividade. Para os autores, uma atividade é qualquer evento que causa uma mudança de estado em um sistema de eventos discretos. Esta atividade pode ser subdividida em ações, que são tarefas a serem executadas para que uma atividade aconteça.

Na estrutura de um modelo SAD, presente na figura 4.4, as ações são executadas da esquerda para direita, até que a atividade seja totalmente completada. Já a sequência destas atividades deve ser lida do centro, área onde se representa os recursos auxiliares, para as extremidades. Os elementos representados em cada área podem ser vistos na mesma figura 4.4.

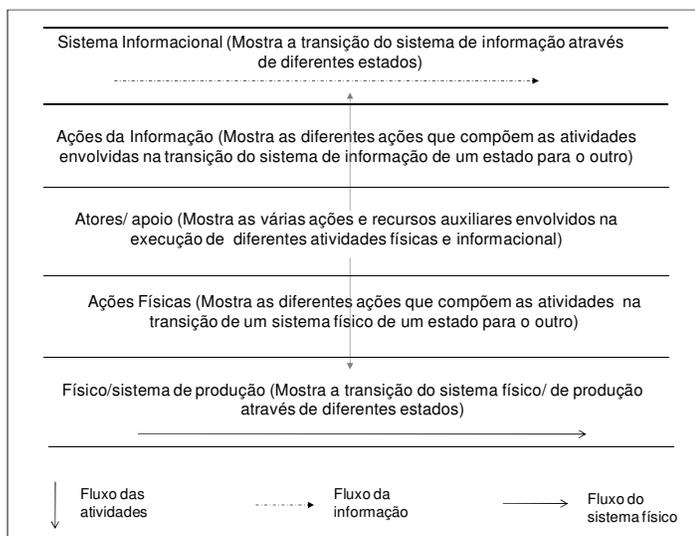


Figura 4.4– Estrutura de um modelo SAD
Fonte: Adaptado de Ryan e Heavey (2006)

A fim de disponibilizar a informação ao usuário do modelo, a técnica permite ainda o uso de uma linguagem de elaboração que descreve cada diagrama SAD em maiores detalhes. Esta estrutura de linguagem faz uso de algumas palavras pré-determinadas para a descrição dos SADs, estas palavras podem ser vistas na tabela 4.3.

Palavras chaves	Descrição
USA (USES)	O recurso suporte faz uso de recursos auxiliares para execução da ação ou ações, ou seja, o suporte USA os recursos auxiliares
PARA (TO)	Detalhes da ação que é executada com o uso de um recurso auxiliar por um recurso suporte.
NA (AT)	Especifica os locais onde as ações são executadas
NO (ON)	Especifica os recursos primários que são usados na transformação do estado das entidades
Transição para (TRANSITIONS TO)	Especifica a mudança de estado de entidade ou informação de um estado para o outro

Tabela 4.3– Palavras chaves usadas na linguagem de descrição do SAD

Fonte: Adaptado de Ryan e Heavey (2006)

Um exemplo simples dado pelos mesmos autores desta linguagem de descrição, presente na técnica SAD, seria: o gerente de produção USA o computador PARA monitorar a produção, NA área de entrega. Segundo os criadores desta técnica, esta estrutura de linguagem permite ao usuário entender e validar o modelo SAD.

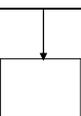
4.5.3 IDEF-SIM

Leal, Almeida e Montevechi (2008) propuseram uma nova técnica de modelagem conceitual, denominada de IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods - Simulation*), que utiliza e adapta elementos lógicos das técnicas de modelagem já consagradas no *Business Process Modelling*, permitindo assim a elaboração de modelos conceituais com informações úteis ao modelo computacional. Além desta utilização, a técnica permite ainda uma documentação de modelos computacionais, facilitando o entendimento do projeto (LEAL *et al.*, 2009).

A principal característica do IDEF-SIM é a identidade da sua lógica de aplicação com a lógica utilizada em simulação a eventos discretos. Esta característica tem como objetivo criar um modelo conceitual do processo a ser simulado que contenha elementos requeridos na fase de modelagem computacional.

Os elementos utilizados para compor a técnica IDEF-SIM foram selecionados das técnicas de modelagem já consagradas: IDEF0, IDEF3 e fluxograma. 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 projetos de simulação. Desta forma, o IDEF-SIM se utiliza de símbolos do IDEF0, IDEF3 e fluxograma, mas dentro de uma lógica que contempla a simulação (LEAL, ALMEIDA E MONTEVECHI, 2008).

A seguir, tem-se na tabelas 4.4a e 4.4b com os elementos utilizados na técnica IDEF-SIM, bem como seus símbolos e técnica de origem:

Elementos	Simbologia	Técnica de origem
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)
Funções		IDEF0
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3
Recursos		IDEF0
Controles		IDEF0

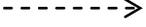
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos		Regra E	IDEF3
		Regra OU	
		Regra E/OU	
Movimentação		Fluxograma	
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3	
Fluxo de entrada no sistema modelado			
Ponto final do sistema			
Conexão com outra figura			

Tabela 4.4 – Elementos utilizados na técnica IDEF-SIM

Fonte: Leal, Almeida e Montevechi (2008)

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

- Controles: regras utilizadas nas funções, como sequenciamento, regras de filas, programações, entre outros;
- 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);
- 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;
- Informação explicativa: utilizado para inserir no modelo uma explicação, com o objetivo de facilitar o entendimento do modelo;
- Fluxo de entrada no sistema modelado: define a entrada ou criação das entidades dentro do modelo;
- Ponto final do sistema: defini o final de um caminho dentro do fluxo modelado;
- Conexão com outra figura: utilizado para dividir o modelo em figuras diferentes.

A fim de se explicar a simbologia e a lógica presente na técnica IDEF-SIM, ir-se-á apresentar dois exemplos de modelos conceituais criados através da utilização da mesma.

O primeiro exemplo, apresentado em Leal, Almeida e Montevechi (2008), traz um trecho de um modelo computacional já elaborado (lado esquerdo da figura 4.5) presente em Leal (2003), representando um atendimento bancário. Do lado direito da mesma figura, tem-se a representação deste sistema através da técnica de modelagem IDEF-SIM.

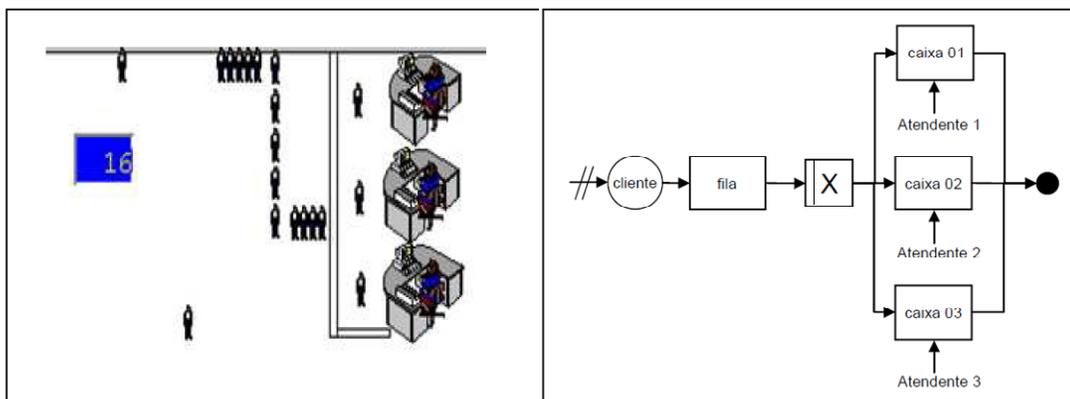


Figura 4.5– Exemplo de aplicação da técnica IDEF-SIM
 Fonte: adaptado de Leal, Almeida e Montevechi (2008) e Leal (2003)

No trecho do sistema representado, o cliente entrando na fila, e pode ser atendido por um dos três caixas disponíveis. Após o atendimento, o cliente deixa o sistema. Na representação do modelo em IDEF-SIM tem-se que apenas uma entidade (cliente) foi utilizada no modelo, além de quatro locais de funções (fila, caixa 01, caixa 02 e caixa 03) e três recursos programados (atendente 1, 2 e 3). A informação de que o cliente pode ser atendido pelo atendente 1, 2 ou 3 é representada pela Junção “Ou” (X) presente no modelo. A seta com dois traços paralelos e a circunferência preenchida representam respectivamente o início e o fim do sistema a ser modelado

Já o segundo exemplo representado na Figura 4.6, retirado do trabalho de Leal (2008), é uma representação de um projeto de simulação ainda na fase de modelagem conceitual. Este é um exemplo hipotético, onde se tem uma representação gráfica inicial simples do sistema a ser modelado.

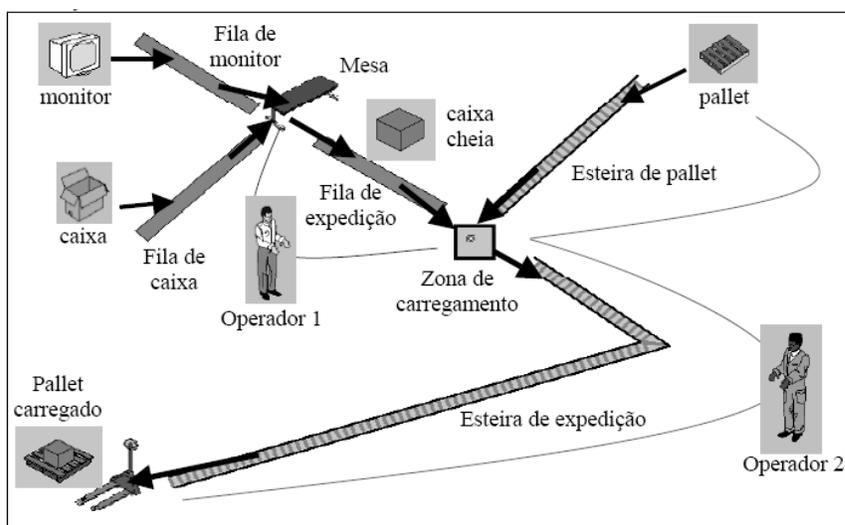


Figura 4.6 – Representação visual do sistema hipotético de manufatura a ser modelado
Fonte: Leal (2008)

O modelo conceitual deste sistema, construído através da técnica IDEF-SIM, encontra-se na figura 4.7, a seguir.

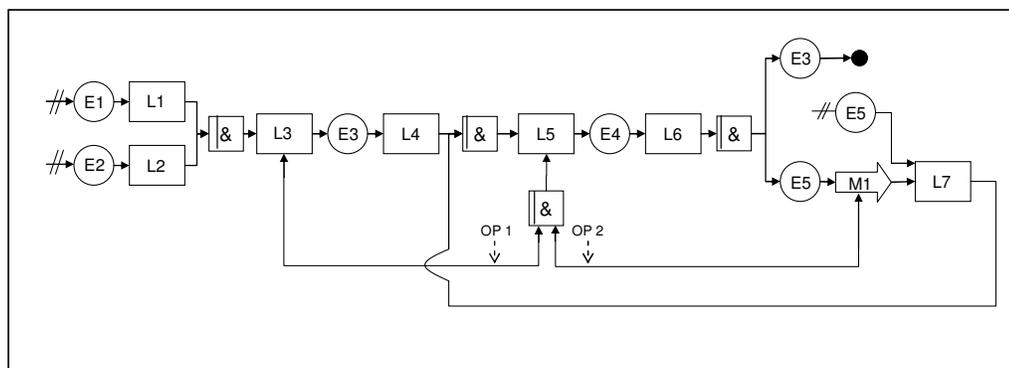


Figura 4.7 – Modelo conceitual do sistema hipotético em IDEF-SIM.

Fonte Leal (2008)

No modelo conceitual em IDEF-SIM apresentado, cada entidade (representada por circunferência) bem como cada função (representada por quadrado) e seus respectivos nomes estão representados na tabela 4.5.

ENTIDADES	NOME
E1	Monitor
E2	Caixa
E3	Caixa cheia (E1+E2)
E4	<i>Pallet</i> carregado (E3+E5)
E5	<i>Pallet</i> vazio
FUNÇÕES	NOME
L1	Fila de monitor
L2	Fila de caixa
L3	Mesa
L4	Fila de expedição
L5	Zona de carregamento
L6	Esteira de expedição
L7	Esteira de <i>pallet</i>

Tabela 4.5 – Entidades e funções presentes na Figura 4.7

Tem-se na Figura 4.7 que as entidades E1 (monitor) e E2 (caixa) são as entradas do sistema, sendo portanto destacadas com uma seta duplamente riscada. Estas entidades após passarem pelas suas respectivas filas (L1 e L2) serão empacotadas em L3 (mesa). A existência da junção “&” antes da função L3 significa que a função L3 não pode ser executada caso uma das entidades, ou até mesmo as duas, não estejam à disposição. Uma vez que L3 é executada, a entidade assume a forma de E3 (caixa cheia). A caixa cheia passa pela fila de expedição (L4) e segue à zona de carregamento (L5). A função em L5 só é executada mediante a

presença das entidades E3 e E5 (*pallet* vazio). A função L5 ainda sofre outra condicional: só é executada mediante o trabalho de dois recursos, OP 1 (operador 1) e OP 2 (operador 2).

Entretanto, estes recursos são responsáveis ainda por outras funções. O OP 1 é responsável também pela função L3, enquanto o OP 2 é responsável pelo transporte da entidade E5 até à função L7 (esteira de *pallet*). Segundo Leal (2008), o uso da junção na seta de recurso se mostrou necessária em modelos de simulação, uma vez que a modelagem de movimentos em muitos softwares permite a alocação de recursos para tal ação. Uma vez que este recurso esteja já alocado em outra função, o transporte deixa de ser realizado e fica em espera.

Após L5 a entidade assume a forma de E4 (*pallet* carregado) e segue à função L6 (esteira de expedição). Na esteira, a entidade se transforma em E3 e E5, sendo E3 enviado ao final do sistema. No caso de E5, este é transportado pelo OP 2 até a função L7. Existe ainda uma entrada de E5, proveniente de fora do sistema. Os *pallets* vazios (E5) irão abastecer a função L5.

Exemplificado o uso do IDEF-SIM, resta compreender quais as vantagens oferecidas por esta nova técnica de modelagem. Para tanto, será apresentada uma figura encontrada em Montevechi *et al.* (2010) que busca destacar qual a diferença da técnica de modelagem IDEF-SIM frente às técnicas convencionais de modelagem. Serão apresentadas também aplicações da técnica IDEF-SIM em alguns trabalhos encontrados na literatura, bem como a opinião dos autores destes trabalhos com relação a esta técnica.

Muitas vezes, a técnica escolhida para a construção do modelo conceitual não oferece suporte suficiente na etapa posterior de construção do modelo computacional do sistema em estudo. Montevechi *et al.* (2010) acreditam que esta pode ser uma das razões que desmotive modeladores a darem uma atenção especial ao modelo conceitual. A figura 4.8 ilustra este problema, destacando ainda pontos fortes do uso da técnica IDEF-SIM.

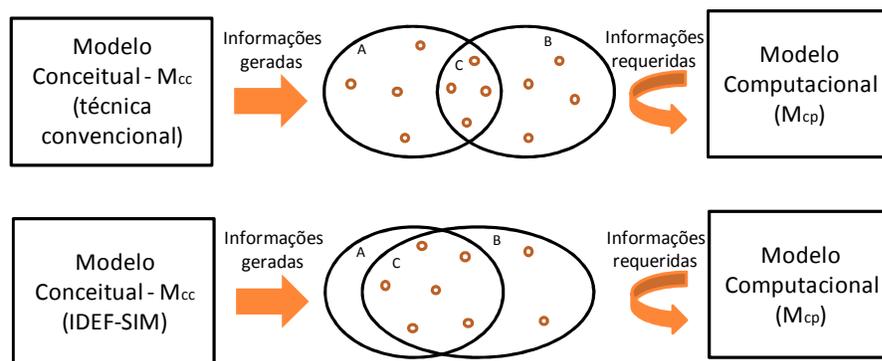


Figura 4.8– Informações geradas e requeridas em uma modelagem conceitual

Fonte: Montevechi *et al.* (2010)

Utilizando técnicas convencionais de mapeamento de processos, obtém-se um modelo conceitual que não é capaz de atender às necessidades do modelo computacional. Têm-se então três conjuntos de informações, conforme apresentado na figura 4.8.

- conjunto A: informações geradas através da modelagem conceitual;
- conjunto B: informações necessárias à modelagem computacional;
- conjunto C: informações necessárias à modelagem computacional e disponibilizadas pelo modelo conceitual.

O conjunto C, para o caso onde se tem o uso de técnicas convencionais de modelagem conceitual, contém um número menor de informações, comparado ao cenário onde o modelo conceitual é feito pela técnica IDEF-SIM. No caso de modelagem convencional, um grande número de informações requeridas pelo modelo computacional não é contemplada pelo modelo conceitual, o que obriga o responsável pela modelagem computacional buscar estas informações no sistema a ser simulado. Percebe-se ainda que muitas informações geradas com a modelagem convencional não são utilizadas na construção dos modelos computacionais.

O uso da técnica IDEF-SIM não garante o registro de todas as informações requeridas no modelo computacional, como pode ser observado na Figura 4.8. Entretanto, o IDEF-SIM, por ter sido elaborado com foco na simulação, fornece somente informações necessárias ao modelo computacional, deixando no conjunto C todos os elementos pertencentes ao conjunto A, restando ao responsável pelo modelo computacional fazer alguns ajustes. Estes ajustes muitas vezes dependem do software de simulação escolhido.

Uma importante questão a ser definida é até que ponto o modelo conceitual deve incorporar informações que serão utilizadas no modelo computacional. Agregar muitas informações ao modelo conceitual pode torná-lo de difícil interpretação, desviando assim seu principal objetivo que é facilitar o trabalho de modelagem computacional (MONTEVECHI *et al.*, 2010).

Os mesmo autores afirmam ainda que para a elaboração da lógica do IDEF-SIM, foram definidos elementos lógicos que permitam ao especialista em modelagem computacional construir um modelo inicial com a estrutura principal do sistema a ser simulado. Estes elementos lógicos do IDEF-SIM induzem o responsável pelo modelo conceitual a se

concentrar nos aspectos que posteriormente serão fundamentais ao responsável pelo modelo computacional.

Com relação a trabalhos presentes na literatura que ilustram o uso da referida técnica, tem-se Leal *et al.* (2009) que apresentaram a técnica IDEF-SIM em desenvolvimento e ainda aplicaram a técnica na modelagem conceitual de uma célula de uma empresa do setor de autopeças. Os autores concluíram que o grande benefício do uso do IDEF-SIM é a construção de um modelo conceitual com algumas características que permitirão uma redução do tempo gasto na fase de modelagem computacional. Regras envolvendo a movimentação, o uso de recursos e controles, além das transformações de entidades, possibilitam ao modelador construir um modelo conceitual mais próximo das exigências de um modelo computacional.

Os citados autores afirmaram ainda que o IDEF-SIM pode ser usado também na fase de documentação do modelo. Uma vez construído o modelo computacional, a técnica pode ser utilizada para registrar a lógica do modelo, facilitando o trabalho de verificação e validação, além de permitir um maior entendimento por parte dos leitores do trabalho. Independente do projeto de simulação, o modelo elaborado através desta técnica pode também ser utilizado em projetos de melhoria, como por exemplo, através de estudos de racionalização.

Já Oliveira *et al.* (2010) ao simular uma célula de uma empresa de alta tecnologia para analisar o impacto da automação na célula em questão, utilizou-se da técnica IDEF-SIM para construção do modelo conceitual do sistema em estudo. Segundo os autores, a utilização da técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM permitiu, além da maior facilidade de compreensão do sistema estudado, uma maior facilidade na etapa de construção do modelo computacional, por ser uma técnica focada em projetos de simulação.

Costa *et al.* (2010) desenvolveram um projeto de modelagem e simulação aliado ao método ABC (*Activity Based Costing*) para auxiliar a tomadores de decisão a justificar melhorias no processo de produção atual através do conhecimento de custo. Para o projeto de simulação desenvolvido, os autores utilizaram a técnica IDEF-SIM na construção do modelo conceitual.

Os mesmos autores destacam duas contribuições principais do uso da referida técnica de modelagem na associação de custos a modelos de simulação: cada atividade do processo pode ser identificada, o que é um importante passo no desenvolvimento do ABC, e a identificação de todos os recursos utilizados durante as atividades, sendo que esta informação permite ao modelador rastrear custos de energia, mão de obra indireta e custos de depreciação somente para atividades que tenham indicação de um recurso (seta inferior da atividade) no modelo

conceitual. Os autores destacam ainda que foi possível, através do modelo conceitual, que os especialistas identificassem uma atividade que não deveria existir no processo do sistema em estudo.

Nunes (2010) propõe em seu trabalho uma documentação complementar à técnica IDEF-SIM para que o modelador capture e ilustre os principais atributos e variáveis do sistema, sobretudo em ambientes complexos. Segundo o autor, como as aplicações da técnica estão todas relacionadas ao software *Promodel*®, fez-se necessário investigar ainda a adequação da sintaxe da técnica em outro importante software de simulação, o *Arena*.

Para o referido autor a técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM, através de uma linguagem objetiva e padronizada, permite que as variáveis de estado e os elementos lógicos de um sistema discreto sejam abstraídos e ordenados com maior representatividade. Esta propriedade reduz os esforços com o desenvolvimento do modelo computacional, bem como os riscos com a geração de experimentos insatisfatórios. Ele destaca ainda que a sintaxe da técnica IDEF-SIM, ao esquematizar o fluxo de um sistema dinâmico, com as suas ações, interconexões e lógicas decisórias, apresenta uma similaridade estrutural e compatibilidade com os diversos *templates* do simulador *Arena*®.

4.6 Considerações Finais

A primeira etapa de um projeto de simulação é a modelagem conceitual. Esta etapa orienta o modelador, seja na coleta de dados, ou facilitando o processo de construção do modelo computacional em etapas posteriores. Sendo assim, esta etapa tem um grande impacto em todo um projeto de simulação computacional.

A importância desta etapa não é compatível com a atenção oferecida a ela. Alguns autores acreditam que esta falta de atenção está relacionada à ausência de motivação do modelador ao encontrar dificuldades na representação de sistemas complexos, ou por dispor de técnicas inadequadas de modelagem, ou ainda por causa de poucos métodos e procedimentos existentes que orientem esta etapa de modelagem conceitual.

Na estrutura de um projeto de simulação apresentada por Montevechi *et al.* (2010) tem-se que os passos principais de uma etapa de modelagem são construir, validar e documentar o modelo conceitual. Seguir uma estrutura bem embasada pode auxiliar ao modelador a evitar erros e reduzir riscos, gerando assim uma modelagem conceitual eficiente.

A escolha de uma técnica de modelagem adequada também afeta positivamente a eficiência de uma etapa de modelagem e conseqüentemente o projeto de simulação como um todo. Autores como Ryan e Heavey (2006) e Hernandez-Matias *et al.*(2008) defendem a idéia de que poucas técnicas encontradas na literatura oferecem um verdadeiro suporte a um projeto de simulação. Dentro deste contexto, os autores Leal, Almeida e Montevechi (2008) criaram a técnica IDEF-SIM com foco específico no desenvolvimento de modelos conceituais para simulação, a fim de sanar esta lacuna.

Segundo Robinson (2008) a modelagem conceitual é interativa e repetitiva, com o modelo sendo continuamente revisado em um estudo de modelagem. Apesar das diferentes aplicações e opiniões apresentadas sobre a técnica IDEF-SIM, nenhum trabalho presente na literatura contempla uma análise do comportamento desta nova técnica de modelagem, desta forma interativa e repetitiva, em todas as etapas de um projeto de simulação. A tentativa de suprir esta carência está relacionada a um dos objetivos desta dissertação.

Capítulo 5 - Método de Pesquisa: Pesquisa-ação

5.1 Definição do método

Diversos autores como Susman e Evered (1978), Westbrook (1995), Coughlan e Coughlan (2002), Franco (2005) e Turrioni e Mello (2010) afirmam que o termo pesquisa-ação foi inserido por Kurt Lewin, em 1946, para denotar uma abordagem pioneira da pesquisa social que combinava a geração de teoria com a mudança do sistema social, através da ação do pesquisador neste sistema. Em um contexto de pós-guerra, as pesquisas iniciais de Lewin tinham por finalidade a mudança de hábitos alimentares da população e também a mudança de atitudes dos americanos frente aos grupos étnicos minoritários. Suas pesquisas caminhavam paralelamente a seus estudos sobre a dinâmica e o funcionamento dos grupos.

Segundo Thiollent (2005), a pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo, problema no qual pesquisadores e participantes representativos da situação estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

A pesquisa-ação tem por pressuposto que os sujeitos que nela se envolvem componham um grupo com objetivos e metas comuns, interessados em um problema que emerge num dado contexto no qual atuam desempenhando diversos papéis (PIMENTA, 2005).

Para Coughlan e Coughlan (2002), a pesquisa-ação é um termo genérico que cobre muitas formas de pesquisa orientada para a ação e apresenta uma diversidade na teoria e na prática entre pesquisadores usuários deste método. Este método fornece uma gama de opções para o que pode ser apropriado para questões de pesquisa de potenciais pesquisadores.

Dentro do contexto de Engenharia de Produção, os autores Turrioni e Mello (2010) afirmam que a pesquisa-ação é uma estratégia de pesquisa que visa produzir conhecimento e resolver um problema prático. A relação entre estas duas preocupações é variável, sendo desejável um equilíbrio entre elas. Thiollent (2005) considera que com um maior conhecimento a ação é melhor conduzida.

A pesquisa é a produção de conhecimento, já a ação é a modificação intencional de uma dada realidade (OQUIST, 1978). Para o autor, a ação implica em consequências que modificam uma realidade específica, sendo esta ação de sucesso ou não. O conhecimento é produzido e a realidade é modificada simultaneamente, a ocorrência de um se deve a ocorrência do outro.

Coughlan e Brannick (2005) afirmam que a pesquisa-ação é uma abordagem de pesquisa baseada em uma relação colaborativa entre pesquisador e cliente que auxilia a ambos a resolver um problema e a gerar novo conhecimento. A pesquisa-ação tem uma natureza cíclica, o que significa que vários estágios são desempenhados em um processo repetitivo e interativo, oferecendo suporte tanto para resolução de situações problemáticas como para metas científicas (BJORN e BALKKA, 2009).

De acordo com Thiollent (2005), a pesquisa-ação possui dois objetivos:

- a) Objetivo prático: contribuir para o melhor equacionamento possível do problema considerado como central da pesquisa, com levantamento de soluções e proposta de ações correspondentes às soluções para auxiliar o agente na sua atividade transformadora da situação.
- b) Objetivo do conhecimento: obter informações que seriam de difícil acesso por meio de outros procedimentos e assim aumentar o conhecimento sobre determinadas situações.

Ainda segundo o mesmo autor, com relação à questão dos objetivos, podem-se indicar casos nos quais o objetivo é sobretudo instrumental, ou seja, a pesquisa tem um propósito limitado a resolução de problemas práticos de ordem técnica. Existem ainda situações nas quais os objetivos são voltados para a tomada de consciência dos agentes implicados na atividade investigada. Finalmente existe outra situação onde o objetivo é principalmente voltado para a produção de conhecimento que não seja útil apenas para a coletividade considerada na investigação local. A ênfase pode ser dada a um dos três aspectos: resolução de problemas, tomada de consciência ou produção de conhecimento.

5.2 Estrutura da Pesquisa-ação

Segundo Coughlan e Brannick (2005) para que a pesquisa-ação seja bem aplicada, esta deve ser significativa, com metas claramente definidas, o procedimento metodológico ser justificável, as evidências sistematicamente analisadas e a objetividade do pesquisador claramente evidente.

O planejamento de uma pesquisa-ação é muito flexível. Contrariamente a outras pesquisas, não se segue uma série de fases rigidamente ordenadas. Todavia vários autores partidários da pesquisa têm proposto sequências e fases bem definidas (THIOLLENT, 2005).

Um planejamento de aplicação do método de pesquisa-ação encontrado na literatura é o proposto por Coughlan e Coughlan (2002). Segundo estes autores, a aplicação da pesquisa-

ação compreende três passos principais: o pré-passo, relacionado ao entendimento do contexto e planejamento da pesquisa, os seis passos principais que formam um ciclo conhecido como ciclo principal da pesquisa-ação e o meta-passo para monitoração, que tem um caráter investigativo.

5.2.1 Pré-passo:

O pré-passo é dirigido por duas questões relacionadas com a racionalidade para a ação e para a pesquisa. A racionalidade para a ação começa com os membros-chaves da organização desenvolvendo um entendimento do contexto do projeto da ação. Já a racionalidade para a pesquisa envolve o questionamento do porque desta ação ser digna de ser estudada, como a pesquisa-ação pode ser considerada a metodologia apropriada a ser adotada e qual a contribuição esperada para desenvolver o conhecimento (COUGHLAN e COUGHLAN, 2002).

Para Thiollent (2005) esta é uma fase exploratória onde se deve descobrir o campo da pesquisa, os interessados e suas expectativas e estabelecer um primeiro levantamento (ou diagnóstico) da situação, dos problemas prioritários e de eventuais ações. Nesta fase também aparecem muitos problemas práticos que são relacionados com a constituição da equipe de pesquisadores e com a cobertura institucional financeira que será dada a pesquisa.

Já para os autores Turrioni e Mello (2010), o primeiro passo da pesquisa-ação, chamado pelos mesmos de planejamento da pesquisa-ação, deve ser composto pelas seguintes etapas e atividades apresentadas na figura 5.1 abaixo.

Planejar a pesquisa-ação	Definir contexto e propósito	<ul style="list-style-type: none"> •Diagnosticar a situação; •Definir temas e interessados; •Delimitar o problema; •Definir os critérios de avaliação para Pesquisa-ação.
	Definir estrutura conceitual e teórica	<ul style="list-style-type: none"> •Mapear literatura; •Delinear idéias e proposições; •Determinar questão e definir; objetivos da pesquisa.
	Selecionar unidade de análise e técnica de coleta de dados	<ul style="list-style-type: none"> Selecionar unidade de análise; Definir técnicas de coleta de dados; Elaborar protocolo da Pesquisa-ação.

Figura 5.1– Etapa de planejamento da Pesquisa-ação
Fonte: Adaptada de Turrioni e Mello (2010)

5.2.2 Passos principais

Os seis passos principais apresentados por Coughlan e Coughlan (2002) são representados em um ciclo, como pode ser visto na figura 5.2.

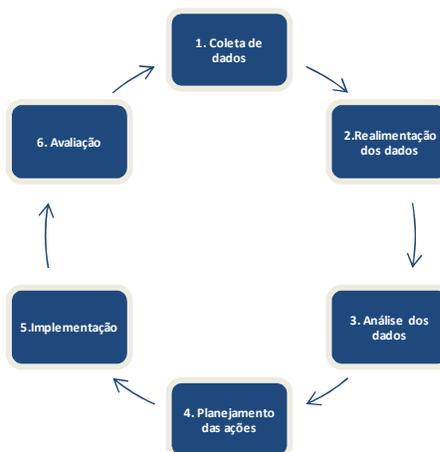


Figura 5.2 – Ciclo da Pesquisa ação
Fonte: Coughlan e Coughlan (2002)

Os seis passos principais deste ciclo principal de pesquisa-ação consistem em:

5.2.2.1 Coleta de dados

Os dados são coletados de diferentes formas, dependendo do contexto, por grupos de observação e por pesquisadores. Existem os chamados dados primários, como por exemplo, dados coletados através de estatística operacional, informes financeiros e relatórios de marketing. Existem ainda os dados secundários que são coletados através de observação, discussões e entrevistas. Esses dados são baseados na percepção e pode ser difícil de interpretar a sua validade (COUGHLAN e COUGHLAN, 2002).

Para o pesquisador a geração dos dados vem através do envolvimento ativo no dia a dia dos processos organizacionais relacionados com o projeto de pesquisa-ação. Os dados não são gerados apenas a partir da participação e observação das equipes no trabalho, mas também através de intervenções que são feitas para avançar o projeto. Algumas dessas observações e intervenções são realizadas de maneira formal, através de reuniões e entrevistas, outras são realizadas de maneira informal, durante o cafezinho ou atividades recreativas (TURRIONI e MELLO, 2010).

De acordo com Coughlan e Coughlan (2002), a observação direta do comportamento é uma importante fonte de dados para o pesquisador. Este lida com fenômenos observáveis

diretamente nas organizações com as quais trabalha. O ponto crítico está em ser útil para o sistema cliente e ainda investigar sobre o que está sendo observado.

Segundo Thiollent (2005), as principais técnicas utilizadas são a entrevista coletiva nos locais de trabalho e a entrevista individual aplicada de modo aprofundado. Ao lado dessas técnicas também são utilizados questionários convencionais que são aplicáveis em maior escala. No que diz respeito à informação já existente, diversas técnicas documentais permitem resgatar e analisar o conteúdo de arquivos ou de jornais. O mesmo autor ainda afirma que independente das técnicas utilizadas, os grupos de observação buscam a informação considerada necessária para o andamento da pesquisa.

5.2.2.2 Realimentação dos dados

O pesquisador recolhe os dados coletados e o realimenta para o sistema cliente com uma conotação que o torna disponível para análise. Algumas vezes o pesquisador coleta os dados e faz o relatório, outras vezes a própria organização fez a coleta dos dados e o pesquisador apenas facilita ou participa nas reuniões de realimentação (COUGHLAN e COUGHLAN, 2002).

5.2.2.3 Análise dos dados

Segundo Coughlan e Coughlan (2002), o aspecto crítico da análise de dados na pesquisa-ação é que ela é colaborativa, tanto o pesquisador quanto os membros do sistema cliente fazem-na juntos. Esta abordagem colaborativa é baseada na suposição de que os clientes conhecem melhor a sua empresa, portanto sabem o que irá funcionar e, principalmente, por serem aqueles que irão implementar e seguir as ações propostas.

Durante a análise de dados é pertinente a comparação dos dados tabulados com a teoria envolvida no tema pesquisado, questões como coerência dos resultados com a teoria, existência de dados contraditórios, convergência dos dados podem ser levantadas para auxiliar ao pesquisador na fase de análise (TURRIONI e MELLO, 2010).

5.2.2.4 Planejamento da ação

De acordo com Turrioni e Mello (2010), como um dos objetivos da pesquisa-ação é resolver um problema técnico, precisa-se elaborar um plano de ação, plano este que deve incluir todas as recomendações para a solução do problema. As recomendações são elaboradas de maneira conjunta entre pesquisadores e participantes da organização.

Questões como quais as mudanças necessárias, onde elas devem ocorrer e que tipo de apoio será necessário são levantadas nesta etapa. Após as análises o pesquisador e os membros da organização decidem os responsáveis e o prazo adequado para a ação (COUGHLAN e COUGHLAN, 2002).

5.2.2.5 Implementação

Nesta etapa os participantes da pesquisa na organização implementam a ação planejada. A ação corresponde ao que precisa ser feito (ou transformado) para realizar a solução de um determinado problema (THIOLLENT, 2005).

De acordo com Coughlan e Coughlan (2002), a etapa de implementação consiste em realizar as mudanças desejadas e seguir os planos de forma colaborativa com relevantes membros-chaves da organização. Para Turrioni e Mello (2010), esta implementação deve partir dos participantes da organização, sendo que os pesquisadores podem intervir no processo como facilitadores de mudanças.

5.2.2.6 Avaliação

Na avaliação, as estratégias elaboradas durante a etapa de planejamento da ação são avaliadas em termos de como auxiliaram a identificar e resolver os problemas atuais (CHUNG-LEE e WEI, 2008).

Coughlan e Coughlan (2002) consideram que a avaliação envolve uma reflexão sobre os resultados intencionais e não intencionais da ação, uma revisão do processo para que o próximo ciclo de planejamento e ação possa beneficiar-se do ciclo já completado. A avaliação é a chave para o aprendizado. Sem esta avaliação, ações são implementadas ao acaso, independente de sucesso ou fracasso, e erros são proliferados, culminando em um aumento da ineficácia e da frustração.

A implementação da pesquisa-ação pode envolver a execução de mais de um ciclo, uma vez que se torna necessário realizar os ciclos até que a completa resolução do problema associado à ação, conforme ilustrado na figura 5.3.

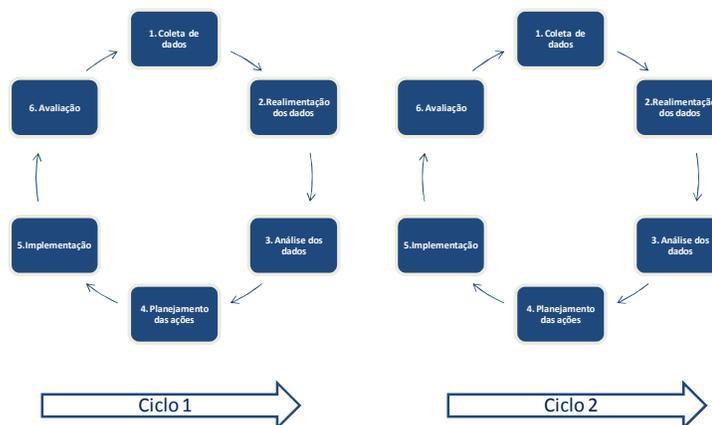


Figura 5.3 – Ciclos da Pesquisa ação
Fonte: Coughlan e Coughlan (2002)

De acordo com Coughlan e Coughlan (2002) estes ciclos ocorrem periodicamente à medida que ações particulares são planejadas e implementadas. Alguns ciclos podem se referir a eventos específicos em um ciclo de curto período, outros podem ser simultâneos e ao longo de um ciclo de tempo maior. Certamente o papel do projeto de pesquisa-ação deve ser um ciclo maior que envolve diversos outros ciclos menores.

5.2.3 Meta-passo: monitoração

De acordo com Coughlan e Coughlan (2002), a monitoração é um meta-passo que ocorre em todos os ciclos, conforme ilustrado na figura 5.4.



Figura 5.4 – Meta-passo da pesquisa-ação
Fonte: Coughlan e Coughlan (2002)

Segundo Cauchick (2009) esta é uma fase compreende uma verificação de cada um dos seis passos anteriores, no sentido de identificar qual é o aprendizado gerado na condução da pesquisa-ação. Esse monitoramento pode estar presente de diferentes maneiras, conforme cada passo do ciclo de condução, sendo que esta etapa pode contribuir tanto para a

organização cujo interesse maior é nos resultados práticos, quanto para o lado da pesquisa na forma de contribuição gerada para teoria vigente.

A metafase de monitoramento é operacionalizada através de reuniões entre os pesquisadores e os participantes da organização. O pesquisador centraliza todas as informações coletadas e discute interpretações, sendo que seus resultados devem ser registrados para garantir o aprendizado (TURRIONI e MELLO, 2010).

Enquanto funcionários da organização estudada focam resultados técnicos, o pesquisador está interessado não apenas no andamento do projeto, mas está também monitorando o processo de aprendizagem (COUGHLAN e COUGHLAN, 2002). Os autores Bjorn e Balka (2009) sugerem que enquanto o pesquisador age, este deve observar sua própria atuação.

Coughlan e Brannick (2005) afirmam que ao mesmo tempo em que o ciclo principal da pesquisa está sendo realizado, o pesquisador deve diagnosticar, planejar, implementar e avaliar sobre como o projeto de pesquisa-ação está sendo conduzido e o que está se aprendendo com ele. É necessário investigar continuamente dentro de cada passo principal, questionando como estes passos estão sendo conduzidos e como estão sendo coerentes uns com os outros e assim definindo como os passos subsequentes serão conduzidos.

Ainda segundo estes autores, a etapa de monitoração em uma pesquisa-ação é o foco de uma dissertação. Eles afirmam que o projeto de pesquisa-ação e a dissertação são integralmente interligados, mas não iguais. A dissertação é uma investigação dentro do projeto, assim é necessário descrever ambos os ciclos de uma forma que demonstre a qualidade do rigor da investigação.

5.3 Validade da pesquisa-ação

De acordo com Bryman e Bell (2007), pesquisas qualitativas, como a pesquisa-ação, recebem muitas críticas com relação a sua validade. Estas críticas estão relacionadas à subjetividade da pesquisa, uma vez que os seus resultados dependem muito da visão não sistemática do pesquisador sobre o que é significativo e também da estreita relação que o pesquisador geralmente desenvolve com as pessoas estudadas, à dificuldade de se replicar a pesquisa por praticamente não existirem procedimentos padrões a serem seguidos, aos problemas de generalização, já que o escopo dos resultados de investigações qualitativas é restrito e ainda à falta de transparência por ser difícil estabelecer o que o pesquisador realmente fez e como chegou às conclusões do estudo.

Entretanto para Martins (2010) a realidade subjetiva dos indivíduos envolvidos na pesquisa de abordagem qualitativa é considerada relevante e contribui para o desenvolvimento da pesquisa. O mesmo autor ainda afirma que este tipo de pesquisa tende a ser menos estruturada para conseguir captar as perspectivas e as interpretações das pessoas pesquisadas, não resultando em menos rigorosidade, mas sim um controle mais crítico destas pesquisas.

A seguir encontram-se na tabela 5.1 as principais diferenças entre pesquisa qualitativa e quantitativa.

Quantitativa	Qualitativa
Números	Palavras
Ponto de vista do pesquisador	Ponto de vista dos participantes
Pesquisador distante	Pesquisador próximo
Teste de teoria	Teoria emergente
Estático	Desenvolvimento
Estruturado	Desestruturado
Generalização	Entendimento contextual
Difícil, dados confiáveis	Rico, dados profundos
Macro	Micro
Comportamento	Significado
Definições artificiais	Definições naturais

Tabela 5.1– Diferença entre pesquisa quantitativa e qualitativa

Fonte: Bryman e Bell (2007)

Com relação á aplicação da pesquisa-ação, os autores Bjorn e Balka (2009) acreditam que os pesquisadores correm o risco de se tornarem altamente engajados com o problema prático e perder a perspectiva teórica. Para Bryman e Bell (2007), ela é criticada pela falta de repetibilidade e conseqüente falta de rigor e por concentrar esforços excessivos nas ações organizacionais em detrimento dos resultados da pesquisa. Já para Thiollent (2005), é frequentemente discutida a real contribuição da pesquisa-ação em termos de conhecimento.

Apesar das diversas críticas feitas à pesquisa-ação, a mesma não perde sua legitimidade científica pelo fato dela estar em condição de incorporar raciocínios imprecisos, dialógicos ou argumentativos acerca de problemas relevantes (THIOLLENT, 2005). Ainda segundo o autor, a pesquisa-ação oferece ao pesquisador melhores condições de compreensão, decifração,

interpretação, análise e síntese do material qualitativo gerado na situação investigativa. Este material é essencialmente feito de linguagem, sob forma de verbalizações, imprecisões, discursos, ou argumentações mais ou menos elaboradas. Os aspectos argumentativos da pesquisa-ação se encontram:

- Na colocação de problemas a serem estudados conjuntamente por pesquisadores e participantes.
- Nas explicações ou soluções apresentadas pelos pesquisadores e que são submetidas à discussão entre os participantes
- Nas deliberações relativas à escolha dos meios de ação a serem implementados.
- Nas avaliações dos resultados da pesquisa e da correspondente ação desejada.

Turrioni e Mello (2010) afirmam que existe certa dificuldade na aceitação da cientificidade do método de pesquisa-ação. Entretanto, segundo os autores, esse método permite a focalização de problemas reais e a colaboração entre o pesquisador e os indivíduos que atuam no objeto de estudo, com ênfase na descrição das atividades conduzidas para a solução do problema identificado, contribuindo de maneira significativa para o estudo de temas em que os processos de mudança são essenciais, como na engenharia de produção.

5.4 Considerações finais

Após analisar as definições, principais características, estrutura de aplicação e até mesmo a validade da pesquisa-ação, optou-se pela utilização deste método de pesquisa para o desenvolvimento deste trabalho. Esta opção se deve ao fato da pesquisa-ação apresentar dois objetivos principais, relacionados à ação e ao conhecimento, objetivos estes que estão fortemente ligados aos objetivos propostos nesta dissertação.

No presente trabalho, pretende-se auxiliar a uma empresa a conhecer melhor o funcionamento de seus processos e ainda conhecer quais as reações deste processo frente a futuras mudanças. Para tanto irá se desenvolver um projeto de simulação computacional a eventos discretos, o que corresponde à ação da pesquisa-ação.

Já com relação ao desenvolvimento de conhecimento através da pesquisa-ação, pretende-se com este trabalho analisar a aplicabilidade de uma nova técnica de modelagem conceitual, a técnica IDEF-SIM, em todas as etapas do projeto de simulação a ser desenvolvido.

Para a aplicação da pesquisa-ação neste trabalho cada ciclo da pesquisa-ação irá corresponder a uma etapa de um projeto de simulação a eventos discretos, ou seja, serão realizados três

ciclos, um ciclo na etapa de concepção, um na etapa de implementação e um último ciclo na etapa de análise, conforme mostra a figura 5.5.

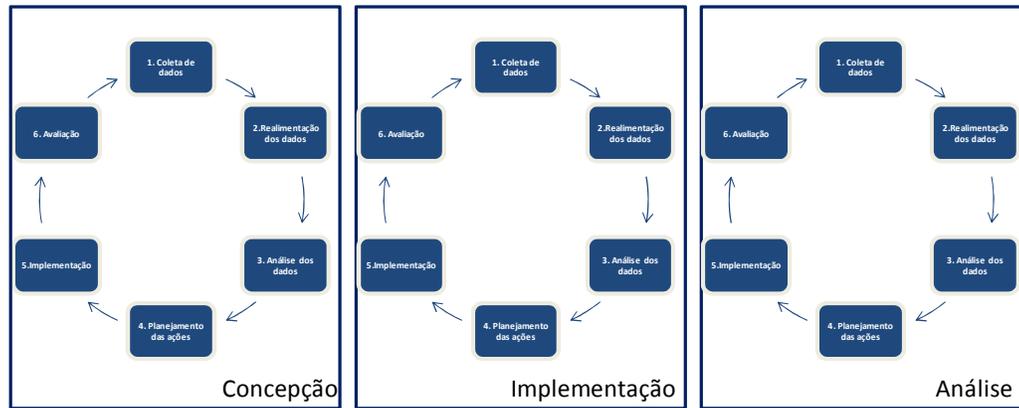


Figura 5.5 – Ciclos de pesquisa ação associados às etapas de um projeto de simulação

É importante destacar que, a fim de responder as perguntas da dissertação e alcançar um resultado significativo do objetivo do conhecimento, o meta-passo da pesquisa ação, relacionado à monitoração de todos os passos do ciclo, será utilizado para analisar o uso da técnica IDEF-SIM em todas as etapas do projeto de simulação computacional desenvolvido. A seguir, tem-se uma ilustração desta monitoração na figura 5.6.

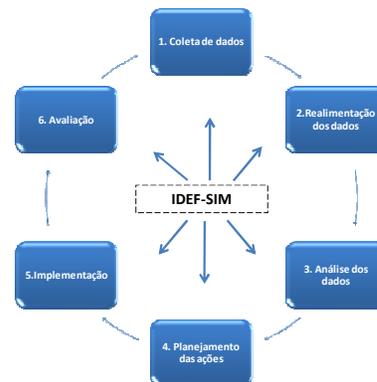


Figura 5.6 – Monitoração da técnica IDEF-SIM em todas as etapas do ciclo

A aplicação dos ciclos de pesquisa-ação na empresa escolhida para estudo, bem como as análises propostas destes ciclos, serão apresentadas no próximo capítulo intitulado de Aplicação do método de pesquisa.

Capítulo 6 - Aplicação do Método de Pesquisa

O método de pesquisa escolhido para o presente trabalho, já apresentado no capítulo anterior, foi a Pesquisa-Ação. Para o desenvolvimento deste, realizaram-se três ciclos dos passos principais oferecidos pelo próprio método de pesquisa, sendo que cada ciclo da pesquisa-ação corresponde a uma etapa do projeto de simulação a ser desenvolvido na célula em estudo. O meta-passo de monitoração, também proposto pelo método, será realizado em todos os ciclos para que se possa analisar a aplicabilidade da técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM em cada etapa do projeto de simulação.

Para a aplicação do método de pesquisa escolhido, primeiramente fez-se necessário selecionar a unidade de análise. De acordo com Yin (2005) a definição desta unidade está relacionada à maneira como as questões iniciais da pesquisa foram definidas. Já para Turrioni e Mello (2010) devem-se definir critérios, com base na questão de pesquisa e nos problemas a serem solucionados, para nortear e justificar a escolha da unidade de análise mais adequada para a condução da pesquisa.

A fim de selecionar a empresa que melhor atendesse ao desenvolvimento deste trabalho, definiram-se os seguintes critérios:

- a) Que a empresa apresente interesse na realização da pesquisa-ação.
- b) Que a mesma disponibilize seus dados para um melhor andamento da pesquisa.
- c) Que seus processos sejam compostos por etapas manuais e automatizadas para assim se analisar o comportamento da técnica IDEF-SIM em ambos os tipos de processo.
- d) E por fim, que tenha um histórico em simulação, para que pessoas da empresa envolvidas no projeto possam ter base para comparações futuras.

Neste processo de escolha, a empresa que atendeu a todos os requisitos anteriores foi a empresa Padtec/S.A, localizada no Centro de Pesquisa e desenvolvimento (CPqD), em Campinas, SP.

O CPqD é uma instituição independente, focada na inovação com base nas tecnologias da informação e comunicação que desenvolve amplo programa de pesquisa e desenvolvimento, o maior da América Latina em sua área de atuação, gerando soluções que são utilizadas em diversos setores: telecomunicações, financeiro, energia elétrica, industrial, corporativo e administração pública.

Já a Padtec é uma empresa voltada ao desenvolvimento, fabricação e comercialização de sistemas de comunicações ópticas. A mesma fornece soluções para redes de longa distância, redes metropolitanas e redes de acesso, além de ser a primeira fabricante da América Latina de sistemas de transmissão baseados na tecnologia WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) capaz de aumentar em dezenas de vezes a capacidade de transmissão de fibras ópticas.

Esta empresa destaca-se por oferecer soluções integradas, inovadoras e customizadas e refletir uma alta capacidade de adaptar e desenvolver produtos segundo as necessidades específicas de seus clientes. Essa capacidade só é possível em função do domínio da tecnologia de sistemas de comunicação óptica que a empresa apresenta. Atualmente, é parceira de importantes operadoras de Telecom, concessionárias públicas, privadas e integradoras e possui equipamentos e soluções comercializados em 30 países e em todos os continentes.

Para apresentar soluções em comunicação óptica aos clientes, a empresa produz os equipamentos necessários para se compor um sistema chamado *rack*. Este é montado de acordo com a necessidade de cada cliente. Para a produção dos equipamentos componentes deste *rack*, a empresa dispõe de seis células de produção e uma célula controle de qualidade.

Uma vez escolhida a unidade de análise para o desenvolvimento do método, pôde-se então realizar a sequência de passos para a aplicação da pesquisa-ação. Esta sequência a ser seguida é a proposta por Coughlan e Coughlan (2002), onde se tem o pré-passo, o ciclo composto por cinco passos principais e por fim, o meta-passo de monitoração, conforme explicado anteriormente no capítulo 3 sobre o Método de Pesquisa.

6.1 Pré-passo

Segundo Coughlan e Coughlan (2002), o pré-passo é dirigido por duas questões relacionadas com a racionalidade para a ação e para a pesquisa. A racionalidade para a ação começa quando a pesquisa-ação se desdobra em tempo real e começa com os membros-chaves da organização desenvolvendo um entendimento do contexto do projeto da ação. Já a racionalidade para a pesquisa envolve o questionamento do porquê desta ação ser digna de ser estudada, como a pesquisa-ação pode ser considerada a metodologia apropriada a ser adotada e qual a contribuição esperada para desenvolver o conhecimento.

Para identificar a questão da racionalidade da ação, fez-se uma reunião com membros-chaves da organização escolhida para estudo, a empresa Padtec. Nesta reunião estavam presentes o diretor industrial, o coordenador de qualidade, o gerente de produção e uma engenheira de produção, todos interessados no projeto a ser desenvolvido na empresa.

Os envolvidos no projeto por parte da organização demonstraram especial preocupação por sua célula de controle de qualidade (CQ). Esta é responsável por testar cerca de 80% dos produtos fabricados nas células de produção da empresa. Os gestores acreditavam que esta célula possa estar sobrecarregada e não sabem como a mesma irá reagir frente a algumas mudanças como possível aumento da demanda, alteração nos tipos de produtos testados pela célula e ainda a introdução da automação em uma das etapas de teste existente na mesma.

Diante da preocupação da empresa em conhecer melhor o processo de sua célula de controle de qualidade, bem como prever reações desta frente a algumas mudanças, é que foi proposto o desenvolvimento de um projeto de simulação na célula em questão. Este projeto de simulação está relacionado à ação da pesquisa-ação.

Já a questão da racionalidade para pesquisa corresponde à análise da aplicabilidade de uma nova técnica de modelagem conceitual, chamada IDEF-SIM, a ser utilizada neste projeto de simulação computacional.

Diversos trabalhos têm sido apresentados na literatura a fim de analisar a aplicabilidade desta técnica, alguns destes inclusive desenvolvidos pela pesquisadora. Entretanto, nenhum destes trabalhos visa responder se a técnica é aplicável em todas as etapas de um projeto de simulação. Para esta análise, tirar-se-á proveito de uma das etapas utilizadas na pesquisa-ação, a etapa chamada de meta-passo de monitoração. Com esta etapa, ir-se-á monitorar em cada ciclo desenvolvido nesta pesquisa-ação como a técnica IDEF-SIM tem se mostrado benéfica para o usuário.

Definidas as racionalidades para a pesquisa e para ação na etapa chamada pré-passo, pode-se então dar continuidade a aplicação do método, ou seja, aplicar-se o ciclo principal da pesquisa-ação, composto por seis passos: coleta de dados, realimentação dos dados, análise dos dados, planejamento das ações, implementação e avaliação. O primeiro ciclo a ser desenvolvido relaciona-se à primeira etapa de um projeto de simulação computacional, a etapa chamada de concepção.

6.2 Ciclo 1: Etapa de Concepção

De acordo com Chwif (1999), na etapa de concepção o analista de simulação deve entender claramente o sistema a ser simulado, decidir qual a abrangência do modelo e o nível de detalhe, para enfim transformar o modelo abstrato (modelo que se encontra na mente do analista) em modelo conceitual através de uma técnica apropriada de representação de modelo.

O principal resultado desta etapa em um projeto de simulação é o modelo conceitual validado, que juntamente com dados de entrada modelados, irá possibilitar a construção do modelo computacional do sistema. A primeira etapa de concepção do projeto de simulação desenvolvido na célula de controle de qualidade da empresa em questão corresponde ao primeiro ciclo do método de pesquisa escolhido, a pesquisa ação, conforme mostra a figura 6.1.

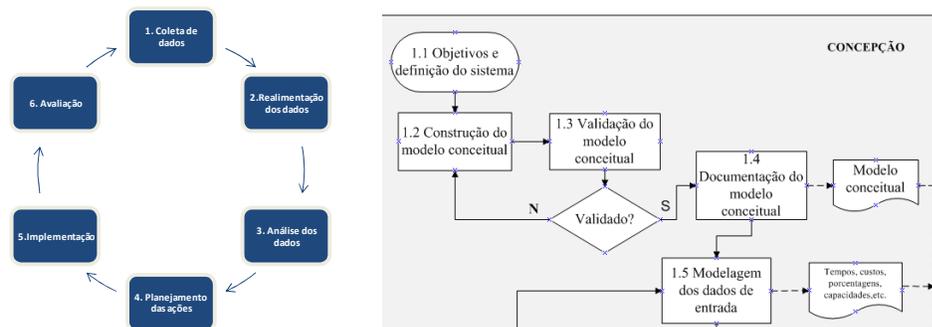


Figura 6.1– Ciclo 1: Etapa de Concepção

Os principais passos deste ciclo relacionado à etapa de concepção serão descritos a seguir.

6.2.1 Coleta de dados

Na pesquisa-ação, a observação direta do comportamento é uma importante fonte de dados para o pesquisador. Ele lida com fenômenos observáveis diretamente nas organizações com as quais ele trabalha (COUGHLAN e COUGHLAN, 2002).

Para a coleta de dados do sistema escolhido, foram feitas constantes observações da célula em funcionamento. A pesquisadora passou por um processo de integração na empresa, primeiramente conhecendo seus principais setores, os tipos de produtos oferecidos aos clientes, as suas linhas de produção e por fim, pode acompanhar o processo de testes da célula de controle de qualidade por um período de uma semana, e dentro deste, a mesma pode conversar com os funcionários que trabalham na célula buscando compreender as principais atividades ali realizadas. Na figura 6.2 tem-se uma foto de uma das vistas da célula de controle de qualidade e seus funcionários.



Figura 6.2– Foto da Célula de Controle de Qualidade da Padtec

Na célula em estudo trabalham três técnicos de produção, que serão identificados ao decorrer do trabalho como operador 1, operador 2 e operador 3. Cada operador é responsável por testar um determinado grupo de famílias, como pode ser visto no esquema da figura 6.3.

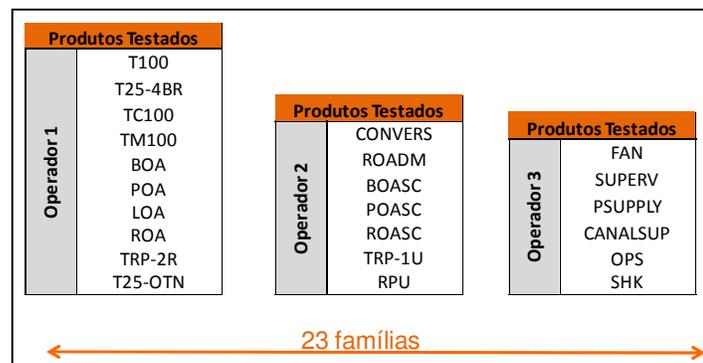


Figura 6.3– Esquema de distribuição das famílias entre operadores

A sequência de testes realizados por cada operador da célula consiste em receber o produto, realizar uma inspeção visual em busca de erros como falta de identificação, parafusos mal posicionados ou danos físicos no produto em observação. Algumas famílias de produtos aprovados nesta etapa ainda passam por testes elétricos dentro de uma estufa antes de seguir para o bastidor. Neste bastidor, o funcionário realiza testes elétricos a fim de saber se o produto apresenta defeitos elétricos. A próxima etapa é registrar o produto e identificar sua condição de aprovado ou reprovado. Os produtos aprovados vão para expedição e os reprovados voltam para a célula de produção responsável pelo seu envio.

Para um entendimento mais detalhado do funcionamento da célula, além das entrevistas informais com os responsáveis da mesma, foram utilizadas duas técnicas de mapeamento: o SIPOC e o fluxograma.

Primeiramente construiu-se um SIPOC da célula de controle de qualidade, para assim entender os principais termos utilizados pela empresa e ainda identificar os principais fornecedores e clientes do sistema mapeado. O SIPOC da célula pode ser visto na figura 6.4, a seguir.

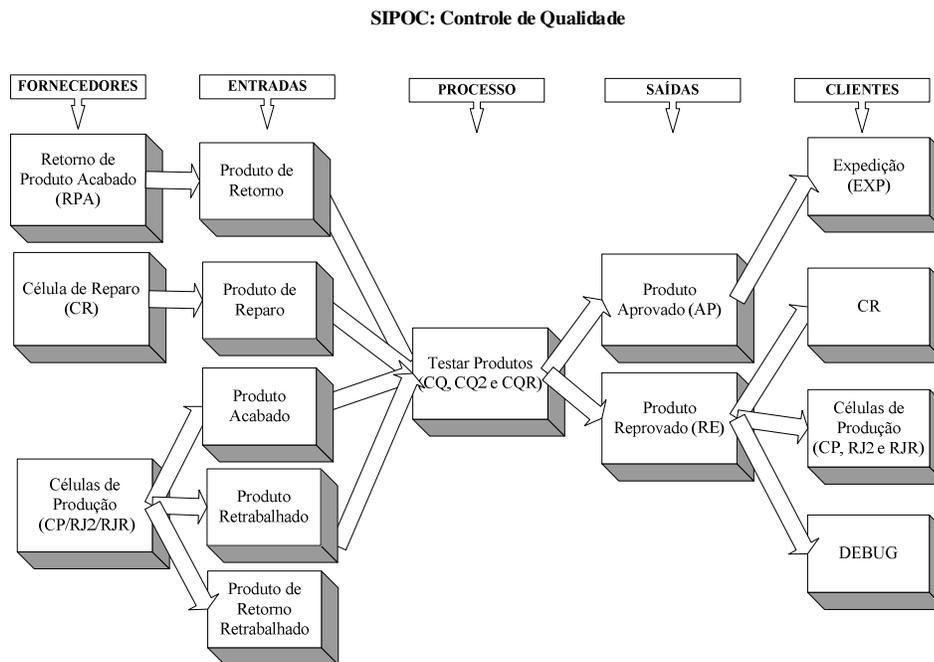


Figura 6.4– SIPOC da célula de controle de qualidade

Pode-se observar pelo SIPOC que a célula de controle de qualidade recebe cinco diferentes classificações de produtos para serem testados: os produtos de retorno, que são produtos que não são mais utilizados pelo cliente e podem então ser utilizados por outros; os produtos de reparo, que são produtos que apresentaram defeitos quando utilizados pelo cliente; e os produtos vindos das células de produção, que são os produtos acabados e os produtos retrabalhados, sendo estes últimos produtos de retorno ou produtos acabados que não foram aprovados nos testes do CQ e precisaram ser consertados.

Uma vez conhecidos os limites e terminologia do sistema em estudo, outro mapeamento da célula foi realizado. Desta vez utilizou-se da técnica fluxograma, a fim de entender e documentar o fluxo do processo e ainda identificar alguns pontos de decisão presentes no sistema. O fluxograma construído encontra-se na figura 6.5 a seguir.

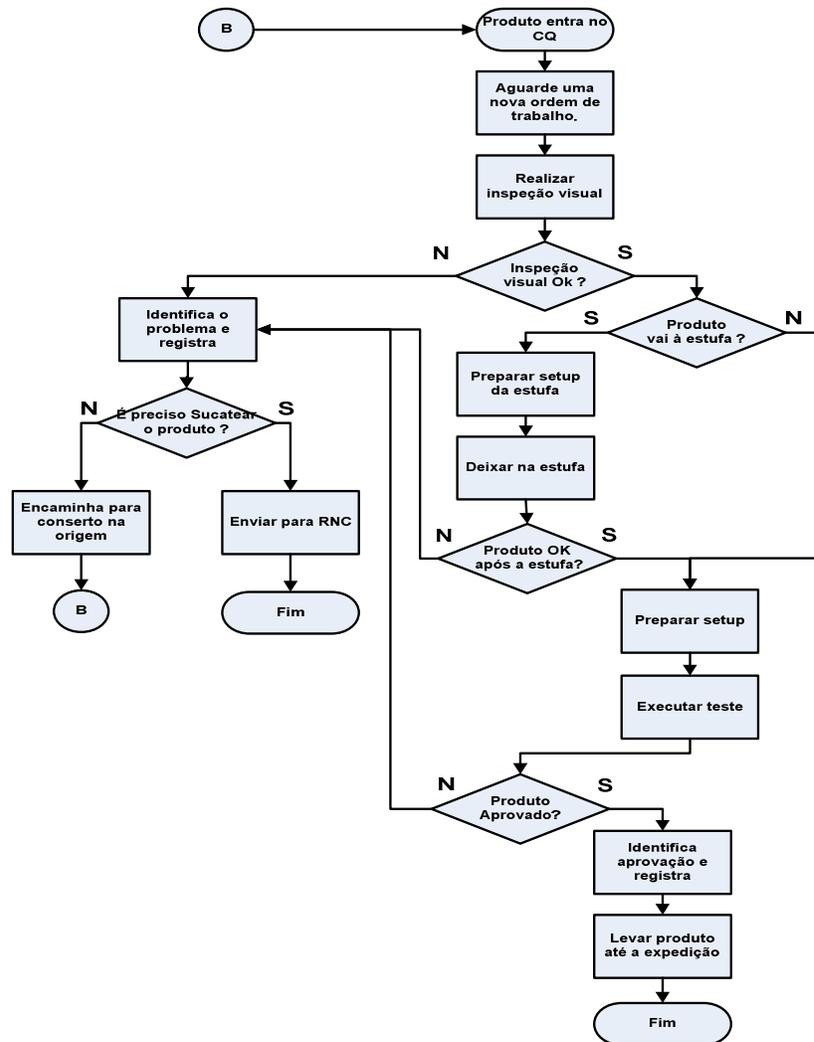


Figura 6.5– Fluxograma da célula de controle de qualidade

O fluxograma trouxe uma visão mais detalhada das etapas do processo, principalmente no que diz respeito aos pontos de decisão presentes no processo. Entretanto, o mesmo não especifica quais os recursos utilizados no desenvolvimento do processo e quais os recursos responsáveis pelos transportes ocorridos na célula.

6.2.2 Realimentação dos dados

Neste passo do ciclo, o pesquisador recolhe os dados coletados e o realimenta para o sistema cliente com certa conotação para torná-lo disponível para análise. Realizou-se então uma reunião com o diretor industrial, o coordenador de qualidade, o gerente de produção, uma engenheira de produção e um funcionário da célula para que os dados coletados fossem apresentados. Nesta, o SIPOC e o fluxograma da célula foram introduzidos a fim de que os

especialistas pudessem validá-los, ou seja, confirmar se eles retratam a realidade da célula mapeada.

Os mapeamentos foram validados pelos especialistas da célula e se mostraram de grande importância para discussões sobre o funcionamento da mesma, uma vez que a empresa não possuía nenhuma forma de mapeamento deste CQ.

6.2.3 Análise dos dados

Ao se analisar os dados coletados no passo anterior, foi possível perceber que, apesar de terem sido realizados dois diferentes tipos de mapeamentos na célula, algumas informações importantes para a construção do modelo computacional em um ciclo posterior não foram registradas nos mapeamentos, como por exemplo:

- Qual o número de funcionários que trabalham na célula de controle de qualidade?
- Quais são os recursos utilizados em cada atividade?
- Existem controles nas atividades? Ou seja, existem regras necessárias para que estas atividades aconteçam?
- Quais as transições ocorridas na entidade durante o processo?
- Quem são os responsáveis pelo transporte das peças?

Portanto, sentiu-se a necessidade de utilizar uma técnica de modelagem que apresente um maior nível de detalhamento do sistema a ser modelado. É importante destacar que informações como as citadas acima são importantes não somente para a documentação do processo, mas também para a alimentação do modelo computacional a ser construído.

6.2.4 Planejamento da ação

Não é incomum que técnicas de modelagem não forneçam informações suficientes para a construção de um modelo computacional. Ryan e Heavey (2006) afirmam que dentre as técnicas presentes no *Business Process Modeling* poucas oferecem o suporte necessário a um projeto de simulação.

A fim de melhorar o entendimento do funcionamento da célula e enriquecer a quantidade de detalhes e informações que serão utilizadas na construção de um modelo computacional futuro, planejou-se utilizar a técnica de modelagem IDEF-SIM criada por Leal, Almeida e Montevechi (2008). Justifica-se a escolha por esta ser uma técnica de modelagem conceitual com foco específico em projetos de simulação computacional.

Através da utilização e adaptação de elementos lógicos já utilizados nas técnicas de modelagem IDEF0 e IDEF3, além da criação de novos elementos, a técnica IDEF-SIM permite a elaboração de modelos conceituais com informações que facilitam a elaboração dos modelos computacionais em projetos de simulação. A técnica permite ainda uma documentação de modelos computacionais, facilitando o entendimento do projeto.

6.2.5 Implementação

Para a modelagem do sistema utilizando a técnica IDEF-SIM, a pesquisadora aproveitou-se do conhecimento adquirido nos mapeamentos realizados anteriormente, SIPOC e fluxograma. Entretanto, para as demais informações até então não esclarecidas, foram necessárias algumas visitas à célula em estudo além de entrevistas informais com os funcionários responsáveis pela realização das atividades da célula. O mapeamento em IDEF-SIM pode ser visto na figura 6.6.

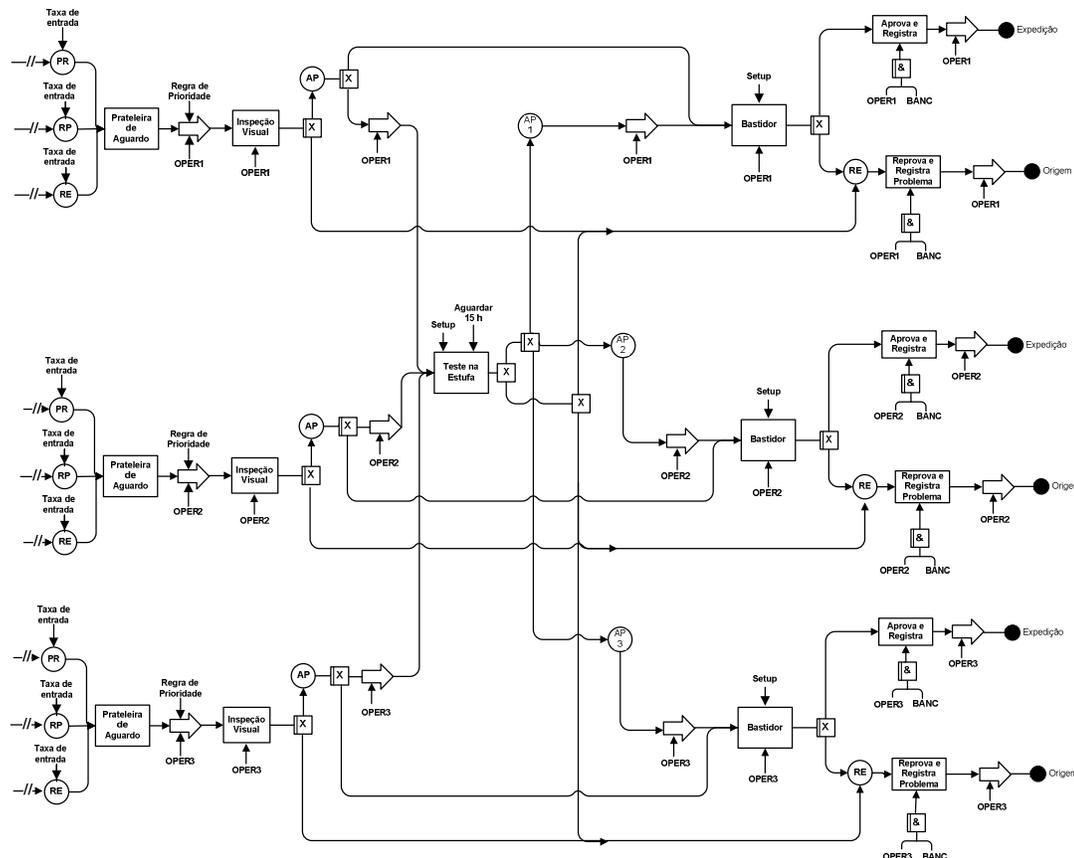


Figura 6.6 – Modelo conceitual em IDEF-SIM de célula de controle de qualidade

Através do mapeamento em IDEF-SIM, obteve-se algumas informações importantes do funcionamento do sistema que podem facilitar a construção do modelo computacional. Em

seguida, tem-se uma explicação deste modelo conceitual em IDEF-SIM bem como algumas informações importantes trazidas pelo modelo.

No modelo conceitual da célula pode-se perceber que entram no sistema três diferentes tipos de produtos para serem testados no CQ. São os produtos PR que representam os produtos vindos diretamente da célula de produção, os RP que são os produtos de reparo, ou seja, produtos que apresentaram defeitos em linhas clientes e foram então consertados, e por fim, o RE que são os produtos que estão obsoletos no sistema cliente e são chamados de produtos de retorno. Cada um destes produtos ao entrar no sistema tem uma regra associada a ele, chamada taxa de entrada, indicando que a entrada destes produtos na célula segue uma determinada taxa, informação importante para construção do modelo computacional, como será explicado posteriormente.

Uma vez introduzido no sistema, o produto vai para um local chamado prateleira de aguardo, de onde será transportado posteriormente por um determinado operador. Este transporte será realizado segundo uma regra de prioridade, ou seja, será transportado e testado um produto que tenha sido determinado pela gerência naquele momento. A próxima atividade a ser realizada é a inspeção visual do produto, para se detectar defeitos físicos visíveis. Como se trata de um teste de qualidade, os produtos podem sair aprovados ou reprovados, este fluxo alternativo da entidade produto é indicado pela junção X no modelo conceitual apresentado.

O produto aprovado pode seguir para o teste de bastidor ou ser transportado pelo operador responsável para um local chamado estufa, conforme indicado pela junção “X”, para serem realizados alguns testes antes de ir para o bastidor. Os produtos que passam pela estufa são pré-determinados pela empresa. Na estufa é necessário que se realize um *setup* e que se preparem os produtos para ficar por um período de 15 horas neste mesmo local. Os produtos que saem da estufa podem ser produtos aprovados ou reprovados. Os produtos aprovados nesta etapa são transportados por um determinado operador até o bastidor.

Os produtos que chegam ao bastidor sofrem uma bateria de testes elétricos e operador responsável pela execução desta atividade deve realizar um *setup* no bastidor antes da realização dos testes. Os produtos aprovados neste teste final serão registrados pelo operador indicado e este só poderá realizar este teste mediante a aparelhagem presente em sua bancada, por isso a necessidade de se indicar no modelo a junção “&”. Por fim, os produtos registrados como aprovados são enviados a expedição.

Já os produtos não aprovados nas etapas de inspeção visual, estufa e bastidor são considerados entidades reprovadas que irão para etapa de registro desta reprovação, e em seguida voltarão para célula de origem, para que assim a célula responsável pela fabricação destes produtos possa consertá-los. Para o registro de reprovação também é necessário a presença do operador responsável e de sua aparelhagem de testes presentes em sua bancada, havendo novamente a necessidade da representação da junção “&”.

6.2.6 Avaliação

Em um projeto de simulação computacional, para se passar da etapa de concepção para a etapa de implementação, ou seja, a fase de construção do modelo computacional, o modelo conceitual do sistema a ser simulado precisa ser validado. Esta validação é de grande importância, pois garante que o modelo conceitual representa corretamente o funcionamento do sistema modelado, tornando assim o modelo computacional mais fiel a realidade.

Para validação do mapeamento da célula utilizando a técnica de modelagem IDEF- SIM, realizou-se uma nova reunião com todos os envolvidos no projeto. Nesta reunião estavam presentes por parte da empresa o diretor industrial, o coordenador de qualidade, o gerente de produção, uma engenheira de produção e um funcionário da célula.

Como se tratava de uma técnica de mapeamento até então não conhecida pelos membros da empresa, a pesquisadora fez uma breve apresentação da simbologia utilizada pela técnica e, em seguida, elucidou o modelo conceitual em IDEF-SIM da célula de controle de qualidade.

A pesquisadora fez a leitura detalhada do modelo conceitual em IDEF-SIM da célula, explicando cada etapa passo a passo, para que os gestores entendessem todos os detalhes da técnica e para que também pudessem associar cada etapa com a realidade corrente na célula em estudo. Após a leitura, os gestores consideraram que o modelo conceitual apresentado representava fielmente o funcionamento da célula de controle de qualidade, e assim o modelo foi considerado validado por especialistas.

No fim da reunião, os gestores ao serem questionados sobre a impressão que tiveram da nova técnica de modelagem, os mesmos disseram que a técnica a princípio parecia complicada, mas que com a explicação passo a passo das etapas e apresentação da simbologia, a técnica IDEF-SIM foi de fácil compreensão. Os mesmos disseram ainda que a técnica representou em detalhes informações importantes do sistema.

Os gestores mostraram-se satisfeitos com a representação da célula de controle de qualidade utilizando a técnica IDEF-SIM e sugeriram que o modelo conceitual apresentado em reunião

fosse colocado em exposição na própria célula para que visitantes e os próprios funcionários pudessem compreender as etapas presentes no processo de controle de qualidade dos produtos. Entretanto, uma importante questão foi levantada. Discutiui-se a necessidade de uma simplificação do modelo apresentado, pois, de acordo com o diretor industrial da empresa, alguns detalhes poderiam ser retirados por terem maior utilidade a programadores de um modelo computacional.

Duas versões impressas do modelo conceitual da célula foram posteriormente apresentadas aos gestores. A primeira era a versão original do modelo conceitual em IDEF-SIM da célula, já apresentada em reunião, presente na figura 6.6. A segunda versão era uma versão mais simplificada do modelo, onde a preocupação maior era documentar o funcionamento da célula sem detalhar informações importantes para a construção do modelo computacional. Esta versão encontra-se na figura 6.7.

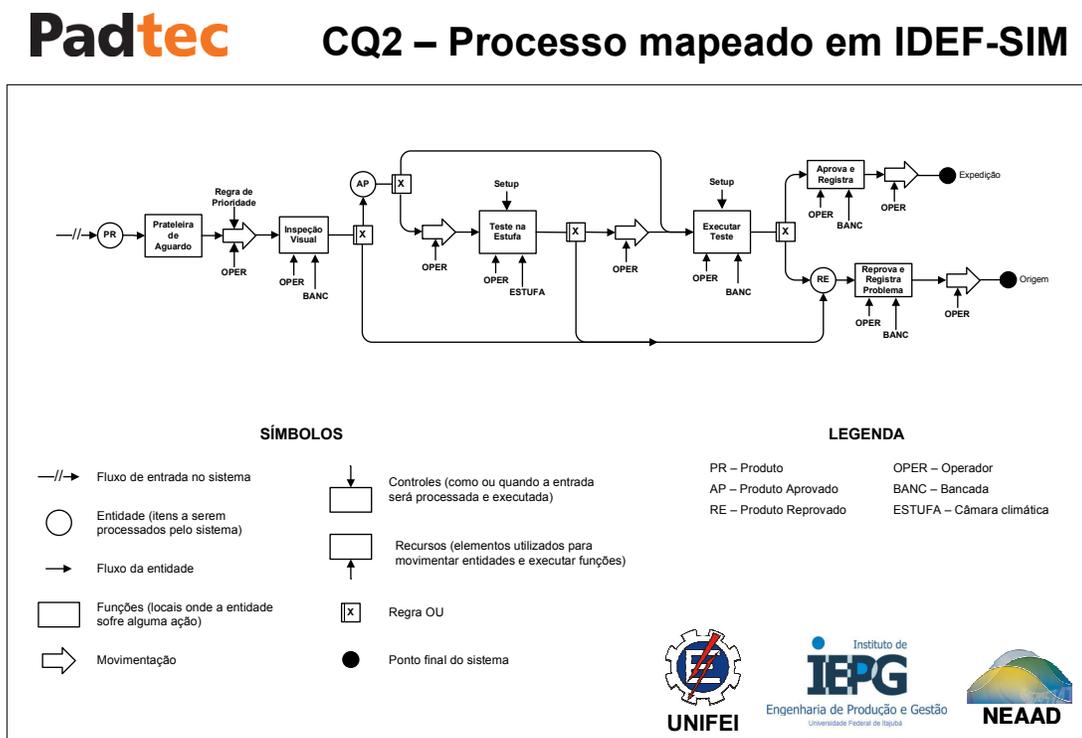


Figura 6.7–Modelo conceitual em IDEF-SIM simplificado

A opção escolhida foi a versão simplificada do modelo e a mesma foi colocada na célula, onde os funcionários, ao serem questionados pela pesquisadora, afirmaram que o modelo representa de forma correta as atividades que eles realizam na célula. Estes funcionários disseram ainda que não foi difícil compreender a técnica IDEF-SIM, uma vez que foi anexado

ao modelo a simbologia utilizada pela mesma. A seguir, na figura 6.8, têm-se fotos do modelo exposto em dois pontos diferentes da célula.



Figura 6.8 – Foto do modelo em IDEF-SIM na célula

É importante dizer que o modelo original, com um maior nível de detalhes, foi escolhido para a construção do modelo computacional, justamente por este apresentar minúcias importantes do sistema modelado. Cabe ainda ressaltar que já nesta etapa de concepção alguns pontos do processo foram questionados, como por exemplo, quem definia a regra de prioridade de produtos representada no modelo. Este foi um ponto polêmico, uma vez que gestores de diferentes áreas discordaram da sequência da lista de prioridades de produtos a serem testados. Após algumas discussões, uma nova lista de prioridades foi definida.

Outra questão levantada com as informações trazidas no modelo apresentado foi a falta da padronização do tempo de permanência dos produtos na estufa. Isso porque, ao ser representado no modelo conceitual, sob a forma de controle, o tempo de 15 horas de teste na estufa, alguns membros da empresa afirmaram que este tempo muitas vezes não é fielmente seguido, o que levou a conclusão da necessidade de um estudo sobre o tempo mínimo ideal de permanência de um produto na estufa.

6.3 Meta-passo: Monitoração do IDEF-SIM no Ciclo 1

Este passo presente na pesquisa-ação será utilizado para se analisar quais as vantagens e desvantagens do uso da técnica IDEF-SIM em todos os passos do ciclo. Neste primeiro ciclo irá se analisar a aplicabilidade da técnica na etapa de concepção de um projeto de simulação.

Dentro do primeiro ciclo, o uso da técnica IDEF-SIM se mostrou necessário no passo onde se analisa os dados coletados. Percebeu-se que as informações mapeadas não seriam suficientes para a construção do modelo computacional e ainda para a documentação mais detalhada do funcionamento da célula. Nos passos posteriores, planejou-se a construção de um novo modelo conceitual utilizando a técnica IDEF-SIM em questão, e em seguida, no passo de

implementação, realizou-se a construção deste modelo conceitual. No passo de avaliação, em reunião com os gestores, pode-se avaliar o grau de compreensão da técnica, sua validade e ainda discutir informações trazidas no modelo conceitual.

Ao monitorar o uso da técnica IDEF-SIM no primeiro Ciclo de uma forma geral, a fim de alcançar parcialmente o segundo objetivo da dissertação de analisar a aplicabilidade da técnica nas três etapas do projeto de simulação, pode-se destacar alguns benefícios do uso da mesma, tais como:

- É uma técnica de simples compreensão, uma vez que os gestores puderam assimilar sua lógica rapidamente, mesmo não sendo usuários da simulação. Facilitando assim, a etapa de validação face a face do modelo conceitual com especialistas do processo;
- Coleta dados importantes para alimentar o modelo computacional em uma fase posterior;
- Fornece uma visão detalhada do processo, possibilitando identificar quais os responsáveis pelas atividades, e ainda indicando os transportes realizados;
- Por ser uma técnica bastante completa, despertou interesse nos gestores em colocar o modelo em IDEF-SIM impresso na célula de controle de qualidade, a fim de que os próprios funcionários e também visitantes possam entender o processo que está sendo realizado na célula em questão;
- Mesmo sendo uma técnica focada em construção de modelos computacionais, permitiu simplificações para que as atividades da célula fossem documentadas e apresentadas a pessoas não especialistas em simulação;
- O mapeamento em IDEF-SIM forneceu ainda informações suficientes para que os gestores de diferentes áreas discutissem sobre as atividades realizadas na célula, como por exemplo, a não padronização do tempo que um produto deve permanecer na estufa e ainda qual a prioridade de teste dos produtos que entram na célula.

6.4 Ciclo 2: Etapa de Implementação

A fase de implementação em um projeto de simulação está relacionado à construção, verificação e validação do modelo computacional. Nesta fase, o programador utiliza-se dos dados coletados do sistema e do modelo conceitual validado para a elaboração do modelo computacional. O uso de uma técnica de modelagem conceitual de fácil entendimento e alto nível de detalhamento se faz importante neste momento de conversão, uma vez que auxilia na

construção de um modelo computacional mais fiel a realidade, além de reduzir o tempo gasto na construção do mesmo.

O segundo ciclo da pesquisa-ação está relacionado a esta etapa de implementação de um projeto de simulação, como pode ser visto na figura 6.9, e os passos deste ciclo serão descritos a seguir.

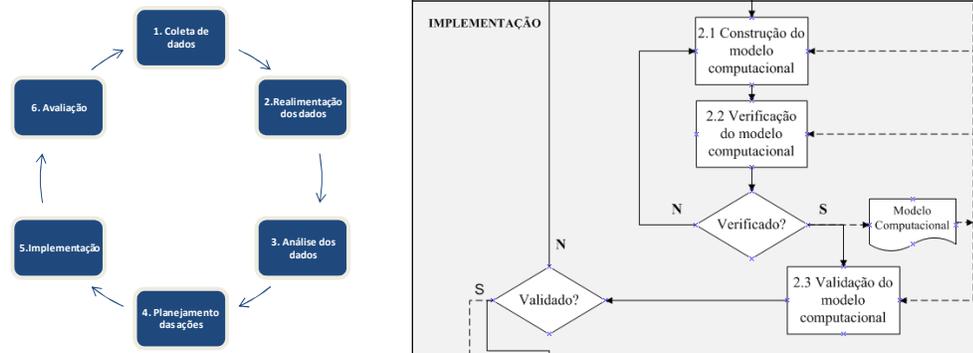


Figura 6.9 – Ciclo 2 : Etapa de Implementação

6.4.1 Coleta de dados

Os dados coletados para o primeiro passo deste ciclo estão relacionados aos dados necessários à construção do modelo computacional da célula de controle de qualidade da empresa.

Além do modelo conceitual em IDEF-SIM, dados como tempo cronometrado das atividades, porcentagem de peças reprovadas em certas etapas, quantidade de produtos testados e porcentagem de distribuição destes produtos entre os operadores da célula serão importantes informações para alimentar o modelo computacional.

Para a obtenção de dados relacionados ao tempo de duração das atividades, cronometraram-se dados da atividade de inspeção visual, de teste de bastidor e ainda a de reporte de produtos, sendo eles aprovados ou reprovados. Foram coletados os tempos destas atividades para cada uma das 23 famílias testadas na célula. Esta cronometragem foi realizada por uma estagiária do projeto, sob supervisão da pesquisadora, e teve duração de seis meses. É importante ressaltar que se utilizou do modelo IDEF-SIM para decidir quais seriam os pontos principais de cronometragem.

Realizou-se então o tratamento dos dados, ou seja, os dados cronometrados de cada família de produtos foram agrupados, os possíveis *outliers* foram eliminados e por fim, a melhor distribuição de cada conjunto de dados foi encontrada, através do software *Minitab*.

A figura 6.10 ilustra gráficos gerados pelo *Minitab* com informações sobre a distribuição encontrada para o conjunto de dados cronometrados da família “Psupply” nas atividades de inspeção, teste e reporte. Esta mesma modelagem foi aplicada às demais famílias.

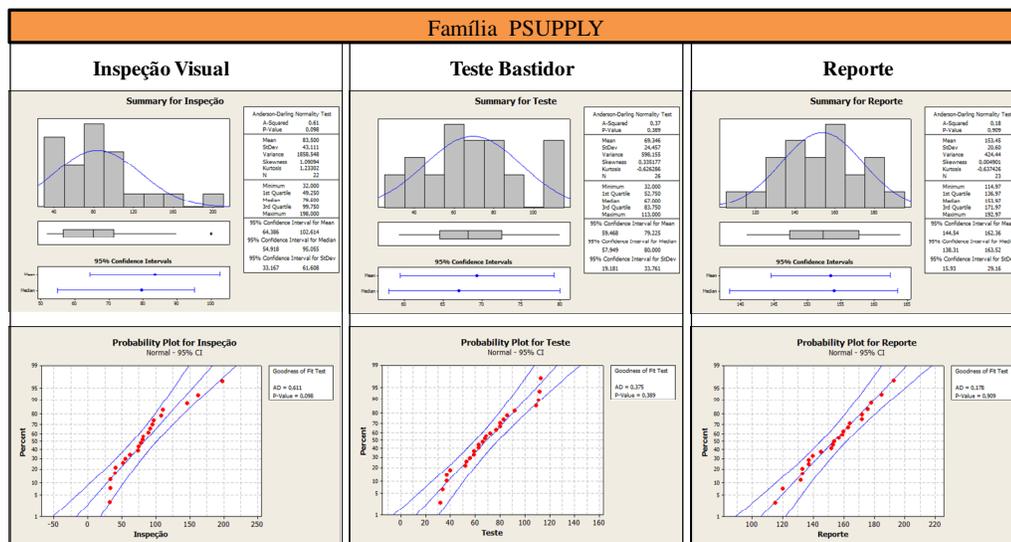


Figura 6.10 – Modelagem dos dados cronometrados da Família PSUPPLY

As demais informações necessárias à construção do modelo computacional foram retiradas do próprio sistema de armazenagem de dados da empresa, sistema este chamado Totvs.

6.4.2 Realimentação dos dados

Os dados de cronometragem, bem como os dados compilados das informações do sistema Datasul, foram apresentados aos gestores da célula e ao diretor industrial em uma nova reunião. A seguir encontram-se alguns exemplos destes dados apresentados.



Figura 6.11– Gráfico da porcentagem de peças testadas por operador

O gráfico na figura 6.11 mostra a porcentagem de peças testadas por cada operador, no ano de 2009. No gráfico pode-se perceber que o operador 2 tem uma porcentagem pequena relacionada aos demais operadores.

Já o gráfico da figura 6.12, apresenta dentre os produtos testados no ano de 2009, qual a porcentagem de produtos acabados, ou seja, produtos vindos das células de produção da empresa, a porcentagem dos produtos de reparo, que são produtos que apresentaram algum defeito e foram consertados, e a porcentagem dos produtos de retorno, produtos que não estão sendo mais utilizados pelos clientes e foram devolvidos.



Figura 6.12 – Gráfico dos tipos de produtos testados no ano de 2009

A seguir, tem-se uma tabela com os dados de peças reprovadas nas atividades de inspeção visual, onde peças podem ser reprovadas por não apresentarem selos, numeração correta ou demais problemas físicos perceptíveis. Tem-se ainda na tabela 6.1 a porcentagem de peças reprovadas na estufa e no bastidor, onde as peças são reprovadas se não apresentarem resultados positivos nos testes elétricos realizados nestes locais.

	Inspeção	Estufa	Bastidor
Operador 1	0,06%	0,2%	2,5%
Operador 2	2,95%	0	4,92%
Operador 3	2,47%	0,5%	0,48%

Tabela 6.1– Taxa de reprovação nas principais atividades do CQ

A não ocorrência de peças reprovadas na estufa por parte do operador 2 justifica-se pelo fato de nenhuma peça testada por ele necessitar de testes neste local. Outros tipos de dados compilados de interesse da empresa foram apresentados em reunião aos gestores, porém neste trabalho, foram mostrados somente estes para uma ilustração dos resultados compilados para o segundo passo, chamado de realimentação dos dados.

6.4.3 Análise dos dados

A apresentação dos dados feita aos gestores do projeto foi de grande importância, pois mesmo sendo dados que já estavam no banco de dados da empresa, a mesma não tinha uma visão simplificada destas informações, e assim diversas questões puderam ser discutidas como a

baixa taxa de reprovação na estufa e a distribuição das famílias a serem testadas entre operadores e possível ociosidade de um dos operadores, chamado aqui de operador 2.

Já com relação às informações dos tempos cronometrados, discutiu-se sobre o elevado tempo gasto em algumas operações. Discutiu-se ainda sobre a dificuldade de cronometragem das famílias, visto que algumas delas apresentaram uma queda na demanda nos meses em que se realizou a coleta de dados.

Mesmo com consideráveis informações sobre a célula em estudo, ainda não foi possível ter um conhecimento aprofundado de seu funcionamento, principalmente no que se diz respeito a mensurar algumas variáveis e analisar mudanças futuras. Questionamentos sobre alguns problemas da célula como a ociosidade dos operadores, por exemplo, foram levantados, mas não puderam ser medidos ou relacionados a outras variáveis.

Neste contexto, fez-se necessário um modelo de simulação para, além de utilizar-se da animação para visualizar o funcionamento da célula, mensurar as principais variáveis do sistema, como número de peças testadas, utilização dos operadores e quantidade de peças refugadas. A interdependência destas variáveis também pode ser retratada em um modelo computacional.

6.4.4 Planejamento da ação

Já durante a reunião realizada no passo anterior, reforçou-se a proposta de desenvolver um modelo computacional da célula de controle de qualidade para que as questões levantadas pudessem ser respondidas e uma maior análise do sistema pudesse ser feita. O modelo computacional seria construído pela pesquisadora e a mesma utilizaria para esta construção o modelo conceitual em IDEF-SIM e os dados compilados e cronometrados apresentados no item 3.

6.4.5 Implementação

Este passo do ciclo está relacionado com o desenvolvimento da programação do modelo computacional da célula em questão. Alguns pontos principais deste desenvolvimento serão descritos neste passo. Entretanto, dar-se-á destaque na descrição de como o modelo conceitual auxiliou na construção do modelo computacional, a fim de desenvolver o conhecimento de como a técnica IDEF-SIM, utilizada no ciclo anterior, se comporta neste novo ciclo relacionado à etapa de implementação do projeto de simulação.

Para construção do modelo computacional foi utilizado o simulador *Promodel*®. Tal escolha se deve à experiência que a pesquisadora possui com o software e por este apresentar características de animação que auxiliam no processo de verificação e validação do modelo computacional. A seguir, serão destacados alguns trechos do modelo conceitual em IDEF-SIM a fim de elucidar como estas informações foram utilizadas na construção do modelo de computacional.

6.4.5.1 Trecho 1

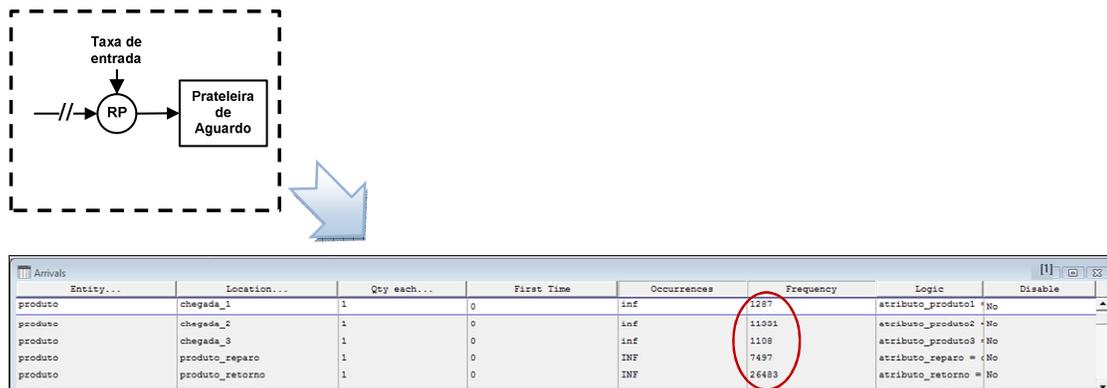


Figura 6.13 – Trecho 1 do modelo conceitual convertido em computacional

O trecho em destaque do modelo conceitual na figura 6.13 traz as seguintes informações: uma entidade, no caso uma entidade de reparo, entra no sistema (indicação feita pela seta com dois traços paralelos) e vai para um local chamado prateleira de aguardo. Pode-se perceber pela figura que a entidade tem um controle (seta superior) chamado taxa de entrada, isso se deve ao fato de a entrada desta entidade, bem como todas as outras entidades que entram no sistema, ser controlada por uma taxa cuja unidade é peças/segundo. Esta é uma informação muito importante a ser inserida no modelo computacional.

Ainda na figura tem-se um trecho do modelo computacional onde se informa quais são as *arrivals*, ou seja, quais entidades entram no sistema e se estas possuem alguma regra ou controle para sua entrada no sistema. Para o modelo computacional da célula de controle de qualidade, esta taxa de entrada foi importante para torná-lo mais próximo da realidade, uma vez que os produtos que chegam para serem testados na célula seguem um ritmo de entrada estabelecido pelas células de produção, sendo incorreto portanto não considerar nenhuma regra para as entidades *arrivals* no modelo computacional. Destaca-se assim a importância da representação deste controle no modelo conceitual do processo.

6.4.5.2 Trecho 2

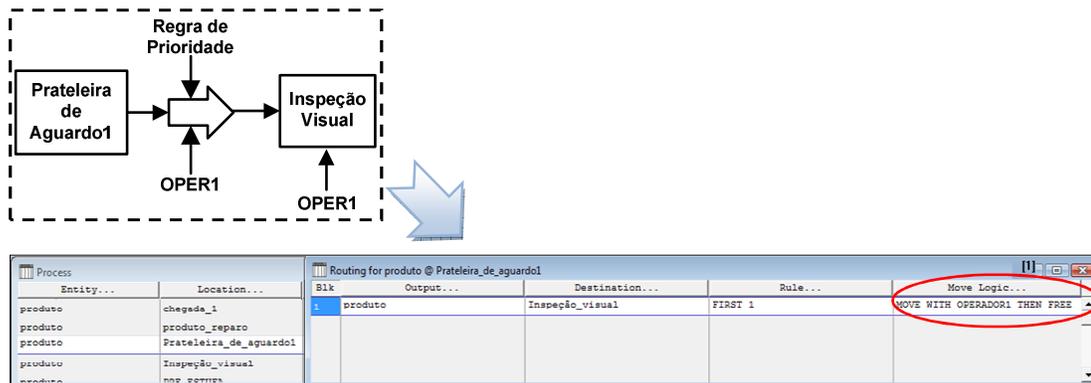


Figura 6.14 – Trecho 2 do modelo conceitual convertido em computacional

Já neste trecho do modelo conceitual, da figura 6.14, utilizou-se o símbolo relacionado ao transporte para indicar que o operador 1 é quem é o responsável pelo transporte da entidade da prateleira de aguardo1 para a inspeção visual, inspeção esta que também será feita pelo mesmo operador. Esta informação foi transferida ao modelo computacional, como pode ser visto na mesma figura.

Na programação do modelo computacional é importante especificar os responsáveis pelo transporte, uma vez que enquanto este operador estiver realizando o transporte não poderá realizar outras atividades das quais é responsável, tornando-se, portanto, uma restrição do sistema. Esta informação sobre o transporte encontra-se em destaque no trecho do modelo computacional.

Outra informação encontrada neste trecho é o controle existente neste transporte (seta superior), relacionado a uma regra de prioridade. Esta prioridade diz respeito ao tipo de produto que deve ser testado no CQ naquele momento. No caso deste modelo computacional a regra é FIFO (*First In First Out*), ou seja, o primeiro produto a dar entrada na célula é o primeiro produto a ser testado. Esta informação também foi traduzida para o modelo computacional e está presente no trecho da programação do modelo nesta mesma figura, no campo onde se especifica as regras (*rule*).

6.4.5.3 Trecho 3

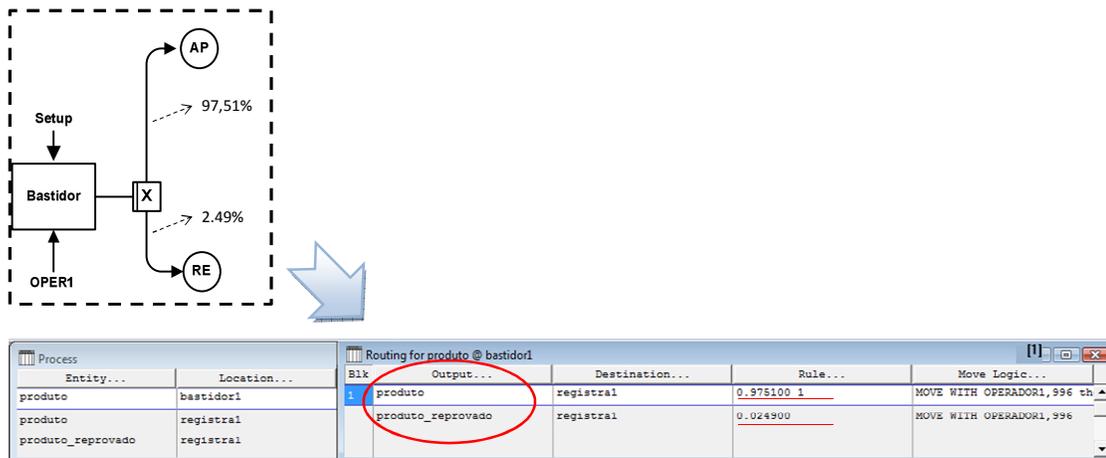


Figura 6.15 – Trecho 3 do modelo conceitual convertido em computacional

No trecho do modelo conceitual em IDEF-SIM em destaque na figura 6.15, pode-se perceber que do local bastidor, por ser um local de teste, podem sair produtos aprovados ou reprovados. Este fluxo alternativo está representado pela junção “X” no modelo conceitual, bem como está representada também a porcentagem relacionada a cada possibilidade de saída, ou seja, 97,51% das peças testadas no bastidor são aprovadas, enquanto que 2,49% são reprovadas. Estas informações de porcentagens e da possibilidade de dois fluxos de saída da entidade estão representadas no trecho da programação do modelo computacional na mesma figura.

6.4.5.4 Trecho 4

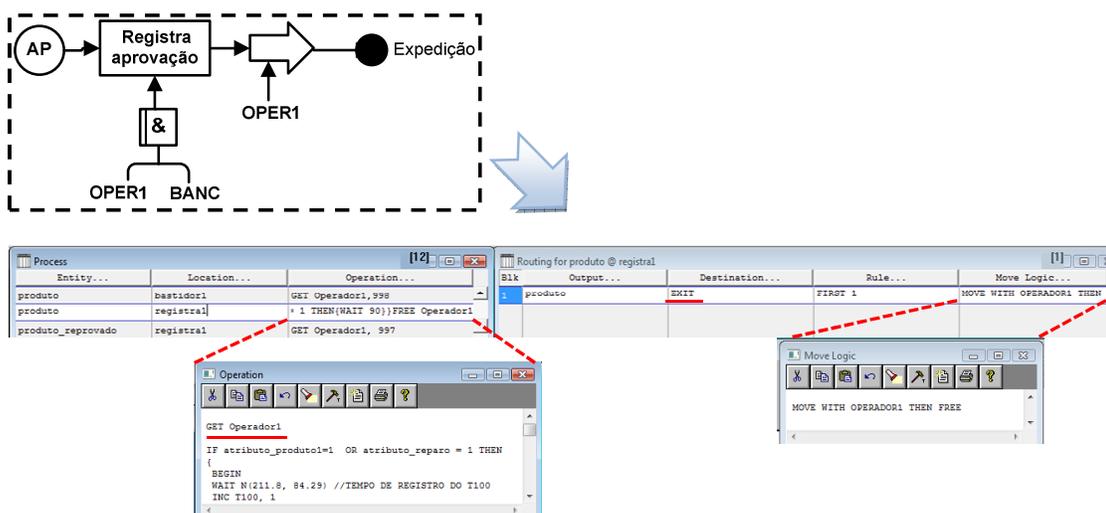


Figura 6.16 – Trecho 4 do modelo conceitual convertido em computacional

Neste último trecho do IDEF-SIM, presente na figura 6.16, se tem a seguinte sequência de informações: o produto aprovado está pronto para ser registrado pelo operador 1 e em seguida ser transportado pelo mesmo operador para a expedição. Entretanto, neste registro os recursos necessários são o operador para realizar o registro e outro recurso identificado como “banc” que representa a bancada de testes, ou seja, todos os elementos utilizados para o registro da aprovação como, por exemplo, computador, sistema, adesivos verdes que indicam aprovação, entre outros. É importante destacar neste trecho do modelo conceitual que a junção “&” indica ao programador que ambos os recursos devem estar presentes na atividade de registro para que esta mesma atividade aconteça. Caso contrário, ou seja, se um dos dois ou até mesmo os dois não estiverem disponíveis no momento de realizar a atividade, a mesma não ocorrerá. No caso específico deste modelo computacional, o recurso “bancada” não está representado na programação por escolha do programador, mas é uma informação importante para quem quer entender o funcionamento da célula, por isso foi mantido no modelo conceitual.

Cabe aqui destacar que esta informação sobre a necessidade da presença de dois ou mais recursos para realização da atividade, representado pela junção &, é de extrema importância quando estes recursos estiverem presentes na programação, uma vez que isso representará uma restrição do sistema a ser representada no modelo computacional.

A tradução deste trecho do modelo conceitual em programação do modelo computacional também pode ser visto na figura. Nesta programação, é possível visualizar as informações sobre quem é o operador responsável pela atividade registro (*Get operador1*) e quem é o responsável pelo transporte (*move with operador1*). Outra informação retirada do modelo conceitual é que a entidade aprovada, após ser registrada, vai para expedição, ou seja, ela sai dos limites da célula, saindo portanto dos limites do modelo computacional. Esta indicação do fim do sistema é representada pelo círculo preto no trecho em destaque do modelo conceitual em IDEF-SIM. No modelo computacional programa-se a saída da entidade enviando-a para o destino “*exit*”, conforme mostrado na figura 6.16.

Foram construídas dez versões do modelo computacional, em ordem crescente de complexidade, antes de se chegar à versão final do modelo. Cada nova etapa era construída somente se a etapa anterior tivesse sido verificada.

A verificação consiste em assegurar se o programa computacional e sua implementação estão funcionando corretamente. Para o processo de verificação do modelo utilizou-se de alguns recursos do próprio software como contadores, variáveis, e sinalizadores, além da animação

gráfica para verificar incoerências do modelo. A figura 6.17 destaca alguns destes recursos utilizados na verificação.

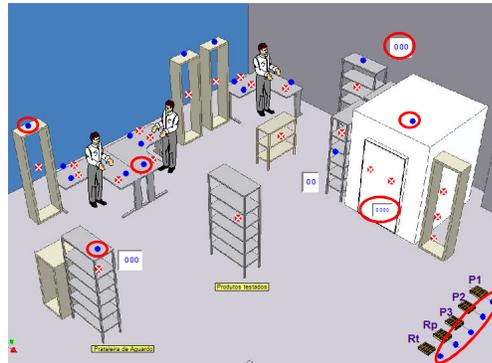


Figura 6.17 – Sinalizadores e contadores utilizados na verificação

É importante destacar que além dos recursos gráficos do software, utilizou-se também o modelo conceitual em IDEF-SIM para certificar-se que a lógica do modelo computacional estava de acordo com a lógica do modelo conceitual validado.

A tela da versão final do modelo computacional encontra-se na figura 6.18, a seguir. Pode-se perceber nesta figura que alguns recursos visuais como contadores, sinalizadores e um painel com a quantidade de produtos testados por família foram incluídos no modelo para uma melhor visualização por parte dos gestores.



Figura 6.18 – Tela do modelo computacional da célula de controle de qualidade

6.4.6 Avaliação

Este último passo do ciclo de implementação corresponde à avaliação das atividades realizadas no passo anterior. Como a ação planejada e implementada dos passos anteriores neste ciclo estavam relacionadas à construção do modelo computacional, neste sexto passo irá

se avaliar se este modelo computacional representa a realidade da célula, ou seja, a avaliação neste passo contemplará o processo de validação do modelo.

No projeto de simulação, uma vez verificado o modelo computacional, o próximo passo importante a ser seguido é a validação operacional deste modelo. Segundo Sargent (2008) a validação operacional é definida como a determinação de que o comportamento do modelo simulado detém precisão suficiente para representar o modelo real para a aplicabilidade a qual se destina. Assim, se o modelo não é uma aproximação do sistema real, todas as conclusões derivadas deste estarão susceptíveis a erros e poderão resultar em decisões incorretas.

Conforme visto na revisão de literatura, existem diversas técnicas de validação, como por exemplo, animação, comparação com outros modelos, testes degenerativos e teste de Turing. Para este modelo, utilizou-se das técnicas de validação face a face e validação estatística.

Para a validação face a face do modelo computacional, foi realizada uma reunião com os gestores do projeto e especialistas da célula de controle de qualidade. Primeiramente, apresentou-se novamente o modelo conceitual em IDEF-SIM, para representar qual lógica o modelo computacional havia seguido. A pesquisadora fez novamente uma leitura passo a passo do modelo conceitual, mas desta vez a preocupação maior era mostrar como alguns trechos do modelo conceitual iriam ser convertidos em programação do modelo computacional.

Este passo foi importante, pois os gestores não possuíam o conhecimento sobre a programação do modelo, mas através do modelo conceitual em IDEF-SIM conseguiram visualizar qual a lógica programada, quais elementos utilizados, pontos de transformação da entidade, pontos de decisão com alternativas de fluxos da entidade, entre outras representações mapeadas, facilitando assim o processo de validação.

Logo após ter sido mostrado o modelo conceitual, a versão impressa em folha A0 do mesmo ficou exposta sobre uma mesa central enquanto o modelo computacional da célula estava em execução, para que qualquer dúvida surgida sobre o funcionamento do modelo computacional pudesse ser discutida sobre o modelo conceitual exposto. Através da animação gráfica os gestores puderam acompanhar o funcionamento da célula e nenhum questionamento foi feito. Como todos os presentes na reunião consideraram correta a representação da célula através do modelo computacional, o mesmo foi considerado validado pelos especialistas, através da validação face a face. Entretanto, optou-se ainda por realizar mais um tipo de validação, a validação estatística.

Na validação estatística, o principal teste a ser realizado é o chamado Teste de Hipóteses, através do qual irá se comparar os dados simulados de uma determinada variável e os dados reais coletados do sistema desta mesma variável. Entretanto, para a realização deste, é necessário descobrir se os dados são considerados normais e se as variâncias das duas amostras são iguais. Para isso faz-se o Teste de Normalidade e o Teste de igualdade de variâncias, respectivamente.

A variável de saída escolhida para realizar-se a validação estatística foi a variável “número de peças testadas mensalmente” na célula de controle de qualidade. Os resultados simulados desta variável serão comparados estatisticamente com dados reais da empresa, em um horizonte de doze meses do ano de 2009.

O software escolhido para a validação estatística foi o software MINITAB®. Primeiramente realizou-se o teste de normalidade para os dados reais e simulados. Os gráficos deste teste podem ser vistos nas figuras 6.19.

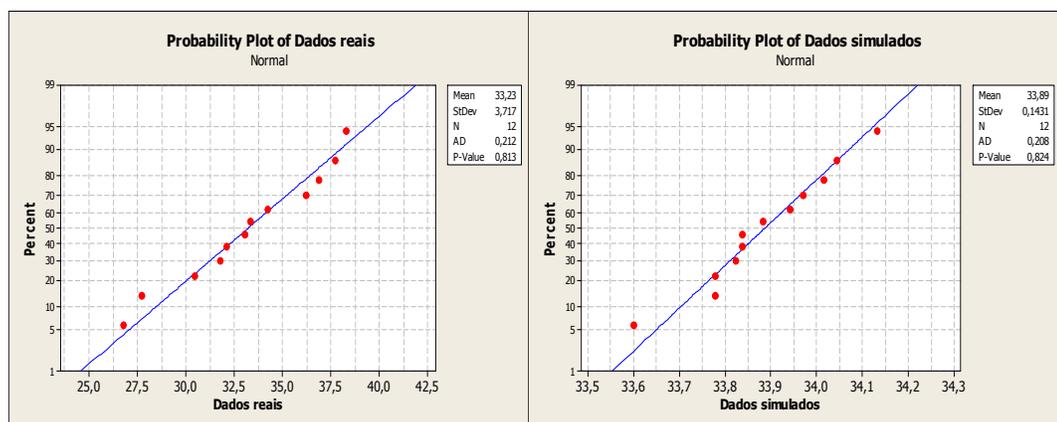


Figura 6.19 – Teste de normalidade para Dados Reais e Simulados

Pode-se perceber através dos gráficos que ambos apresentaram *Pvalue* superior ao valor de 0.05, caracterizando a distribuição dos dados como uma distribuição normal. Com os dados considerados normais, realizou-se então o teste de igualdade de variâncias, uma vez que para o teste posterior, o teste de hipóteses, será necessário saber se estas variâncias são iguais ou não.

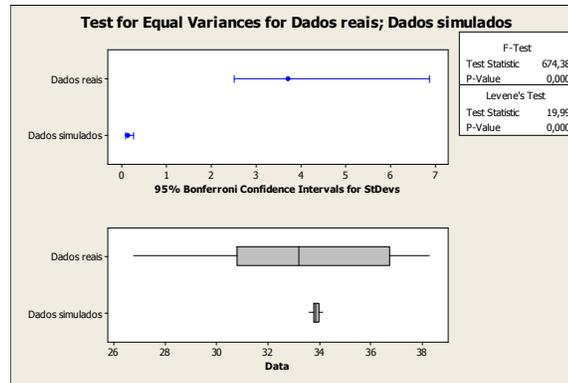


Figura 6.20 – Teste de igualdade de variâncias

Como o *Pvalue* encontrado foi inferior ao valor de 0.05, conforme mostra a figura 6.20, considera-se que as variâncias não são iguais, e esta informação é transferida ao teste de hipóteses. Por fim, realizou-se o Teste t, chamado teste de hipóteses. As informações da realização deste teste encontram-se na figura 6.21 a seguir.

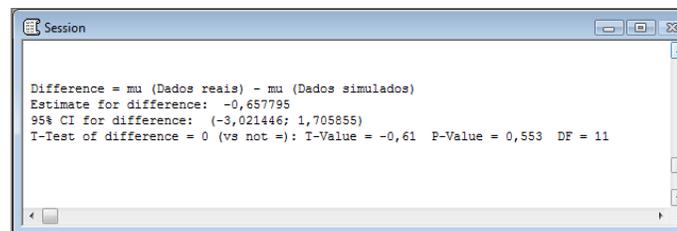


Figura 6.21– Dados do Teste de Hipóteses

Como a estatística do Teste t (*Pvalue* = 0.553) foi maior que o nível de significância adotado ($\alpha = 0,05$) o modelo foi validado estatisticamente para a variável de saída quantidade de produtos testados por mês. Portanto, considera-se que o modelo computacional representa a realidade e este se encontra apto a receber experimentações.

6.5 Meta-passo: Monitoração do IDEF-SIM no Ciclo 2

No primeiro passo do ciclo, onde se tem a coleta de dados, o modelo conceitual em IDEF-SIM auxiliou na identificação dos pontos principais para a realização da atividade de cronometragem dos tempos. Já no passo de implementação, sua simbologia de fácil entendimento, seu alto nível de detalhe de representação da realidade e sua lógica semelhante à utilizada na programação, auxiliaram no processo de construção de um modelo computacional, reduzindo tempo e esforços gastos neste processo.

O fato do modelo conceitual em IDEF-SIM representar em detalhes os principais pontos do sistema modelado foi de grande valia. Isso se deve ao fato de que com todas as informações

necessárias à construção do modelo computacional registradas no modelo conceitual, não foi preciso que se fizessem várias visitas à célula para buscar tais informações.

A técnica IDEF-SIM se mostrou aplicável não somente na construção do modelo computacional por trazer informações detalhadas do sistema real, mas mostrou-se aplicável ainda no processo de verificação e validação deste modelo.

No processo de verificação, utilizou-se do modelo conceitual em IDEF-SIM para conferir se nenhum elemento havia sido esquecido ou se havia algum erro na lógica do modelo computacional. Este auxílio na verificação pode ser uma vantagem do modelo conceitual, independente da técnica de mapeamento utilizada, entretanto é importante aqui destacar que sem o nível de detalhamento, oferecido pela técnica IDEF-SIM, o processo de verificação poderia não ser tão simples. Para exemplificar, se a técnica escolhida para auxiliar na verificação fosse o fluxograma, poderiam surgir dúvidas como: quantos funcionários trabalham nesta célula? Ou ainda, quem é mesmo o funcionário responsável por tal transporte? E somente com o fluxograma, estas perguntas não seriam respondidas.

Já no processo de validação, presente no último passo do ciclo, a técnica se mostrou importante, uma vez que favoreceu o entendimento por parte dos gestores de como a lógica do modelo computacional foi construída. O modelo conceitual em IDEF-SIM, juntamente com a animação gráfica oferecida pelo software *Promodel*®, facilitaram o processo de validação face a face com os especialistas do sistema.

6.6 Ciclo 3: Etapa de Análise

O terceiro ciclo da pesquisa-ação a ser realizado está relacionado à etapa de análise de um projeto de simulação. Nesta etapa, o modelo computacional já validado está apto a receber diversos experimentos, para que assim se possa fazer uma melhor análise do sistema modelado. A figura 6.22 retrata a relação do ciclo da pesquisa-ação com a etapa de análise de um projeto de simulação.

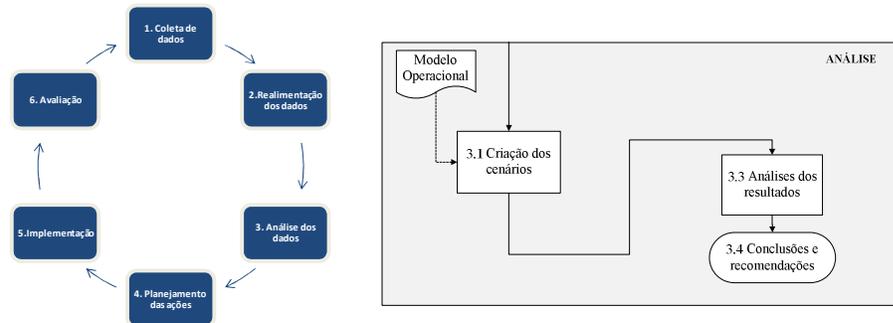


Figura 6.22 – Ciclo 3: Etapa de análise

Os principais passos deste terceiro ciclo da etapa de análise serão apresentados a seguir:

6.6.1 Coleta de Dados

Os dados coletados neste ciclo estão relacionados aos resultados gerados pelo modelo computacional já construído. Como este modelo foi validado no ciclo anterior, pode-se dizer que os resultados gerados por ele estão coerentes com o sistema real modelado, permitindo assim que análises sobre estes resultados tenham devida importância e validade.

Todos os dados inseridos no modelo, tais como taxa de entrada de produtos a serem testados, tempos cronometrados e taxas de rejeição das peças testadas, foram dados relacionados ao período de maio a dezembro de 2009. Entretanto, algumas mudanças ocorreram no ano de 2010, tais como a mudança de um operador e uma redistribuição de famílias a serem testadas entre os operadores da célula. O novo operador 2 agora assume uma família de produtos do operador 3 e quatro famílias testadas anteriormente pelo operador 1. Cabe ressaltar que estas mudanças ocorreram devido a questões levantadas pelo trabalho já no primeiro e segundo ciclo da pesquisa-ação desenvolvida.

Para que o modelo de simulação se adequasse a nova realidade do CQ, o mesmo sofreu algumas alterações como a inserção de novos dados de tempos cronometrados do operador substituinte e taxas atualizadas relacionadas ao período de janeiro a junho de 2010. É importante dizer que para esta alteração recorreu-se ao modelo conceitual IDEF-SIM da célula, a fim de certificar-se que as mudanças estavam sendo realizadas corretamente.

6.6.2 Realimentação dos dados

Os resultados gerados tanto do modelo de 2009 quanto do modelo de 2010 foram apresentados em reunião, em formas de tabelas e gráficos, a todos os envolvidos no projeto. Um dos gráficos apresentados foi o de utilização dos operadores da célula de controle de

qualidade, gerado pelo próprio simulador *Promodel*®. Os gráficos de utilização dos modelos 2009 e 2010 encontram-se na figura 6.23e 6.24, respectivamente.

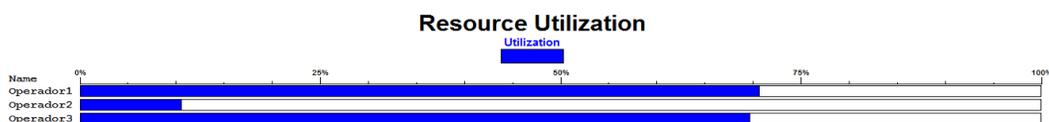


Figura 6.23 – Gráfico de utilização dos operadores da célula no ano de 2009

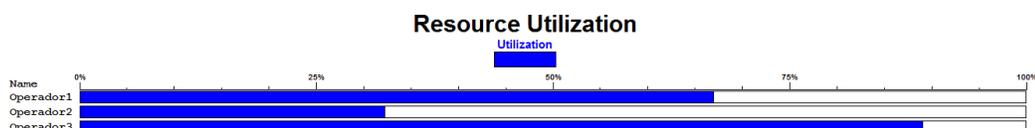


Figura 6.24 – Gráfico de utilização dos operadores da célula no ano de 2010

Estes gráficos mostram que o aumento de utilização mais significativo foi do operador 2, o operador modificado, chegando a quase 25%. Outros dados apresentados como o número de peças testadas resultantes, tanto do modelo computacional do período de 2009, quanto do modelo computacional do período de 2010, foram explicitados na tabela 6.3. Esses dados estão relacionados à média de cinco rodadas de cada modelo no simulador do total de produtos testados, os reprovados, bem como cada família, em um período de um mês.

		Modelo de 2009	Modelo de 2010
Produtos	Testados	1145,8	1543
	Reprovados	69,2	58,6
	Reparo	75,6	74,6
	Retorno	23	23,4
Famílias	T100	185,2	220
	T25-4BR	87,8	155,4
	TC100	54,4	62
	BOA	45,2	91
	POA	31,6	44,2
	TM100	25,4	24
	LOA	29,8	56,6
	ROA	11,8	30,2
	CONVER	18,4	29,8
	ROADM	6,4	8,2
	BOASC	8,2	8,2
	POASC	2,8	2,8
	ROASC	3,6	0
	SUPERV	187,6	249,4
	FAN	157,6	225
	CANAL SUP	105	83,4
	PSUPPLY	85,4	115,6
OPS	39,6	58,6	
SHK	10	31,2	
OUTROS	27	24,4	

Tabela 6.3 – Dados gerados pelos modelos computacionais de 2009 e 2010

O aumento ou redução em forma de porcentagem de cada família testada do modelo de 2010 com relação ao de 2009 está representado no gráfico na figura 6.25.

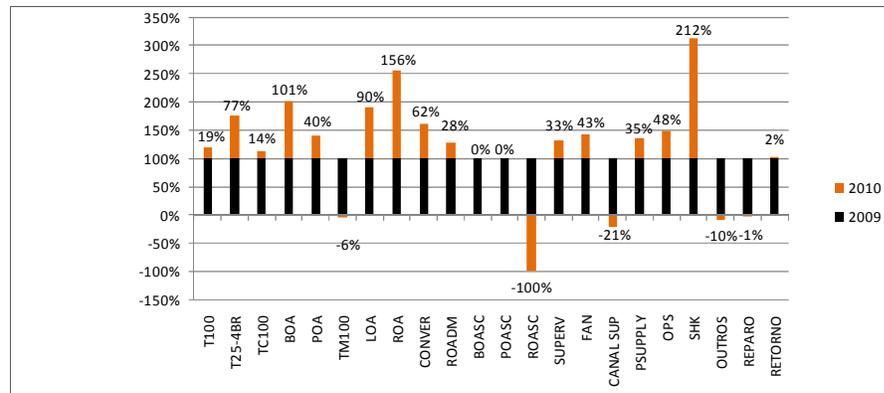


Figura 6.25 – Gráfico da diferença percentual de peças testadas entre os anos de 2009 e 2010

6.6.3 Análise dos dados

Foi possível analisar, juntamente com os gestores da célula, os dados apresentados no item anterior. Nesta análise, foi possível observar um aumento no total de peças testadas no período de 2010. Já algumas famílias apresentaram uma queda no número de peças testadas, como por exemplo, a família de ROASC, mas isso se deve a queda na produção deste item nas células. Esta família teve em média 4 peças testadas no ano 2009 e nenhuma entrada no período de 2010.

Verificou-se com relação à utilização dos operadores da célula, que o novo operador, chamado de operador 2, teve um aumento em sua utilização com relação ao operador anterior, principalmente por testar um número maior de famílias. É importante ressaltar que esta nova distribuição de famílias entre operadores foi assumida na célula após ter sido evidenciado uma distribuição desequilibrada na etapa de análise do ciclo 2 do presente trabalho.

Mesmo com um melhora no grau de utilização dos operadores no período de 2010, a ociosidade na célula ainda é considerada alta. Entretanto, esta ociosidade se deve a taxa de entrada de produtos a serem testados na célula, ou seja, o fato da demanda de teste ser relativamente baixa faz com que a utilização dos operadores também seja, aumentando assim a ociosidade.

A fim de analisar como a célula se comportaria sem esta restrição de entrada de produtos, ou seja, com um número infinito de peças a serem testadas, propôs-se aos gestores a construção de um novo modelo. Propôs-se ainda a construção de diversos cenários para que se pudesse

analisar o comportamento da célula de controle de qualidade frente a algumas possíveis mudanças.

6.6.4 Planejamento da ação

Após se analisar os dados gerados pelo modelo de 2009 e 2010, realizou-se mais uma reunião com os gestores, desta vez com a intenção de apresentar propostas para os cenários a serem construídos. Aproveitando-se da boa relação destes gestores com o modelo conceitual em IDEF-SIM da célula apresentado em reuniões anteriores, utilizou-se desta mesma técnica na construção de modelos conceituais que representariam como seria o funcionamento do CQ dentro de cada cenário e ainda destacar no próprio modelo as possíveis mudanças.

Foram propostos onze cenários. Cada cenário traz consigo propostas de mudanças baseadas em preocupações que foram levantadas por gestores e demais envolvidos no projeto durante o desenvolvimento deste trabalho.

Para destacar as mudanças propostas nos modelos conceituais em IDEF-SIM de cada cenário, a pesquisadora utilizou-se de um símbolo já consagrado no mapeamento de fluxo da cadeia de valor, o símbolo de explosão do *Kaizen*. De acordo com Rother e Shook (2003), o símbolo de *Kaizen* é um dos ícones gerais do mapa de fluxo de valor que destaca as melhorias necessárias em processos específicos que são fundamentais para se chegar ao fluxo de valor desejado.

Optou-se por utilizar este símbolo nos modelos conceituais por ele facilitar a visualização da mudança a ser feita em cada cenário. Cabe ressaltar que o símbolo estará relacionado a cada recurso, controle, atividade ou entidade que sofrerá a alteração proposta.

Os modelos conceituais dos cenários apresentados em reunião, bem como a explicação das mudanças propostas nos mesmos, encontram-se a seguir

a) Cenário 1: Capacidade

O objetivo da construção deste cenário é eliminar a restrição de entrada de produtos na célula, ou seja, considerar a entrada como infinita para que a capacidade de teste do sistema possa ser medida. Assim, como pode ser visto no modelo conceitual na figura 6.26, o símbolo do *kaizen* sobre o controle da taxa de entrada indica que este será eliminado no modelo computacional deste cenário.

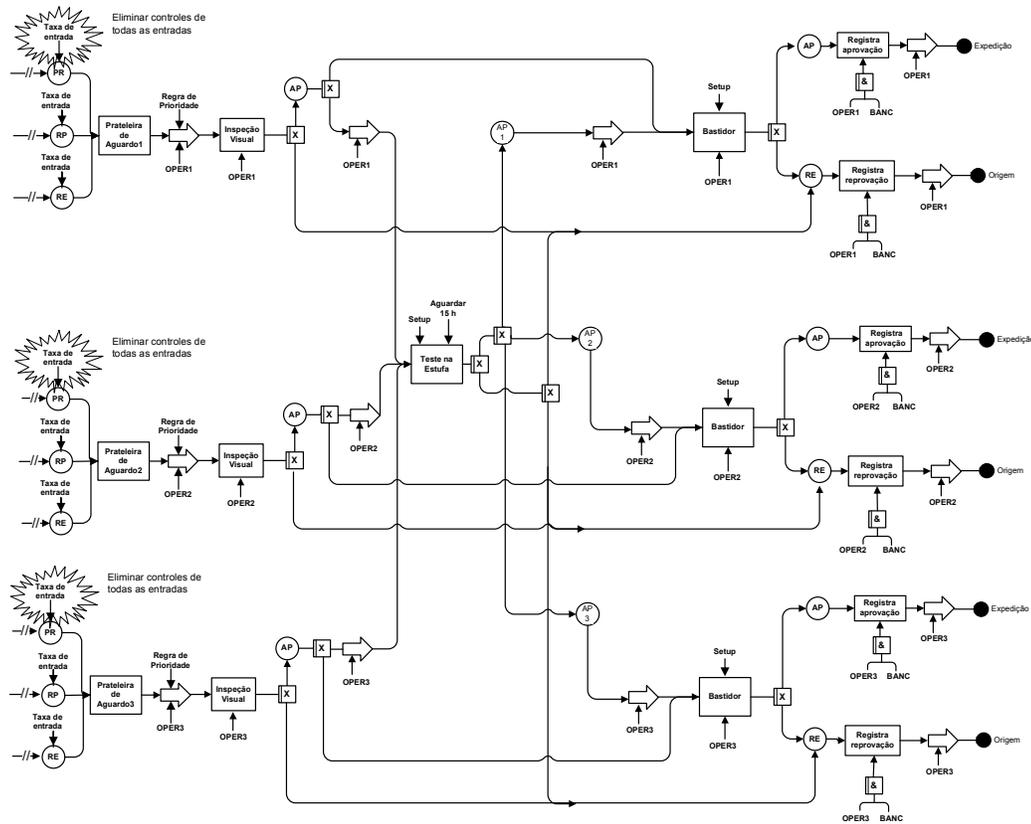


Figura 6.26 – Modelo conceitual do Cenário Capacidade

O cenário da capacidade serviu como base para os demais, uma vez que se desejava analisar os efeitos das melhorias propostas nos cenários desconsiderando qualquer restrição de entrada, permitindo assim que a célula esteja trabalhando com sua capacidade máxima de teste.

b) Cenário 2 : Automação

Uma das idéias que motivaram a empresa a se interessar pelo desenvolvimento do projeto de simulação era saber como a célula de controle de qualidade reagiria frente a prováveis mudanças a ocorrerem na mesma. Uma destas mudanças é a automação de uma das etapas de testes realizada na célula, etapa esta que ocorre no bastidor. Uma vez automatizada, o operador não mais precisará fazer o acompanhamento deste teste, estando assim livre para realizar demais tarefas.

Com a automação, o setup a se realizar no bastidor de teste seria um pouco mais complexo, aumentando o tempo de realização deste setup em aproximadamente 20%. Já a realização dos testes elétricos neste bastidor, devido à agilidade oferecida pela automação, teria uma queda em sua duração de aproximadamente 50%. Estes valores foram estimados pelo gestor

responsável pelo desenvolvimento e aplicação desta automação na célula. O modelo conceitual do cenário, com estas alterações em destaque pelo símbolo *Kaizen*, encontra-se na figura 6.27.

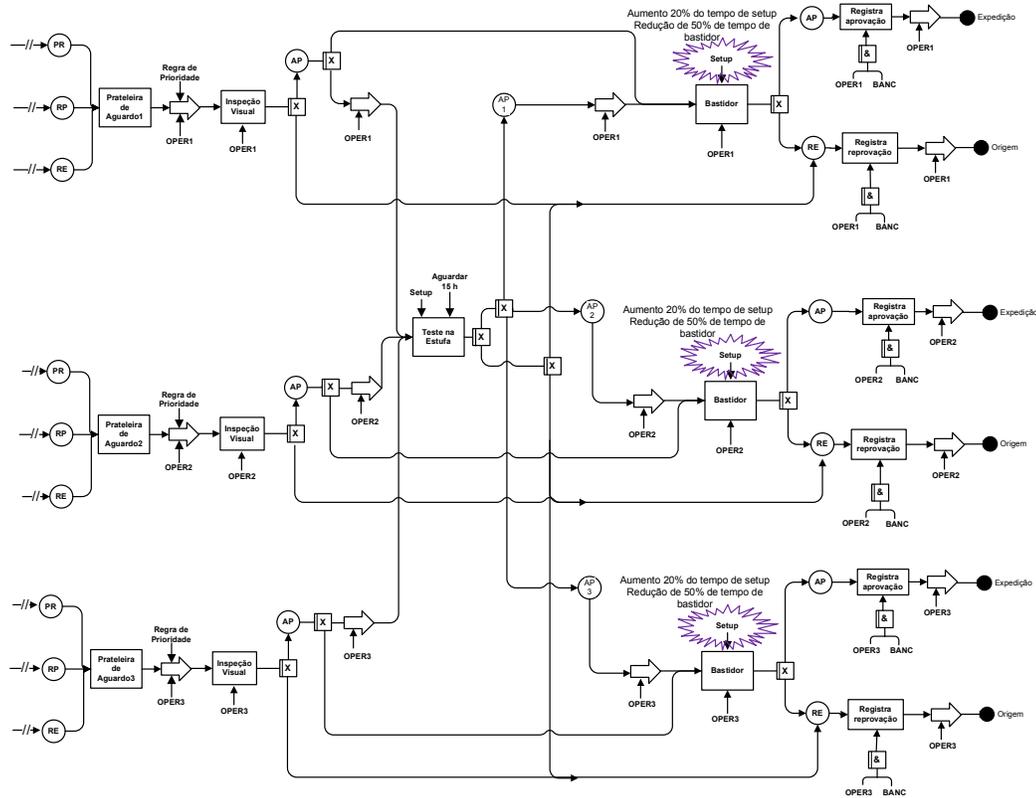


Figura 6.27 – Modelo conceitual do Cenário Automação

c) Cenário 3: Estufa

Outro cenário proposto foi o relacionado à estufa presente na célula de controle de qualidade. Esta estufa é responsável por realizar testes elétricos nos produtos, sob certa temperatura, em um período de 15 horas. Entretanto, esta questão sobre o tempo mínimo de permanência de um produto na estufa já havia sido levantada em reuniões anteriores. Portanto, a fim de entender qual seria o impacto no número de peças testadas com uma redução no tempo de teste da estufa, propôs-se um cenário onde o tempo de permanência do produto na estufa seria de apenas 3 horas.

Seria necessário um estudo mais aprofundado para encontrar o valor mínimo ideal de permanência do produto na estufa, mas como este estudo ainda está em andamento na empresa, o valor escolhido foi baseado na experiência dos operadores da célula.

A seguir, tem-se a figura 6.28 com o modelo conceitual do cenário da modificação proposta para o tempo de teste na estufa.

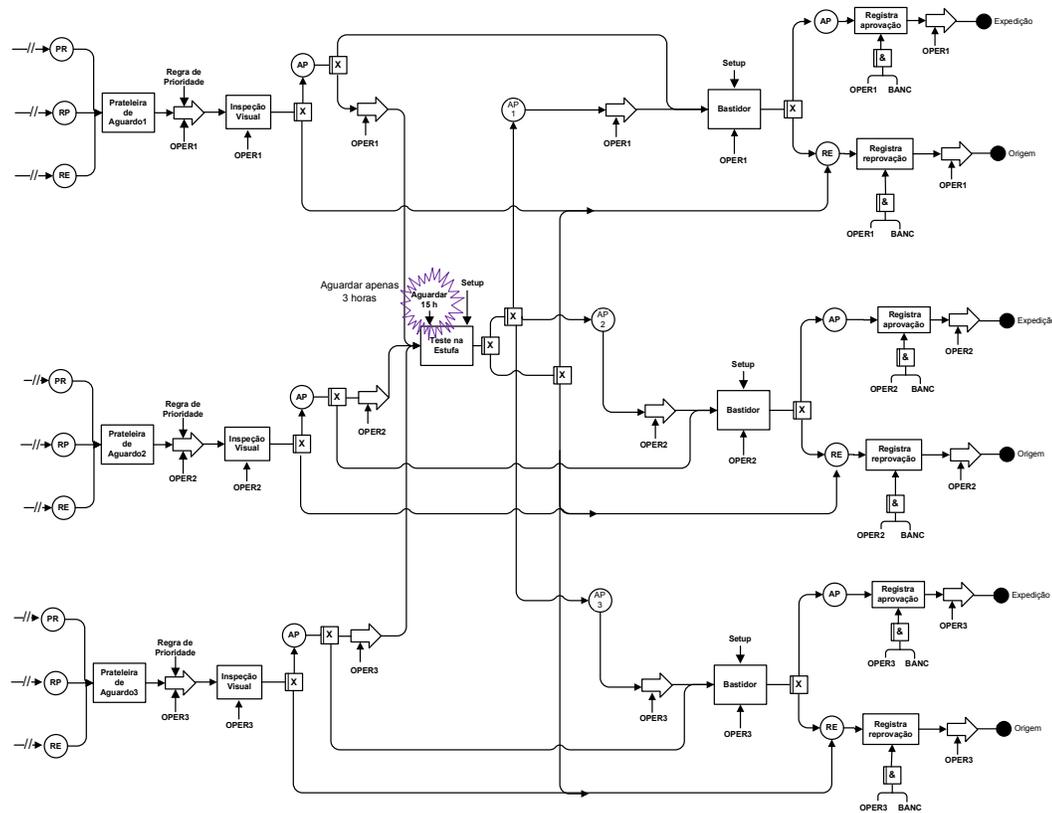


Figura 6.28 – Modelo conceitual do Cenário Estufa

d) Cenário 4 : Coringa

Para este cenário optou-se por acrescentar um operador e uma bancada para auxiliar os três operadores já existentes na célula. Este operador extra, chamado de coringa, seria uma possível solução se futuramente a demanda de produtos a serem testados aumentasse.

Uma vez que este operador coringa consegue testar qualquer família de produtos, o mesmo seria responsável por testar 30% de cada grupo de famílias direcionado aos demais operadores. Este valor estimado foi considerado razoável pelos gestores da célula, entretanto este valor pode ser facilmente alterado no modelo computacional se assim for desejado.

A fim de evitar uma poluição visual no modelo conceitual deste cenário, utilizou-se de um símbolo proposto na própria técnica IDEF-SIM, um triângulo que faz ligação de um trecho do modelo com outro trecho ou ainda com outro modelo. As duas figuras 6.29 e 6.30 a seguir mostram esta interação.

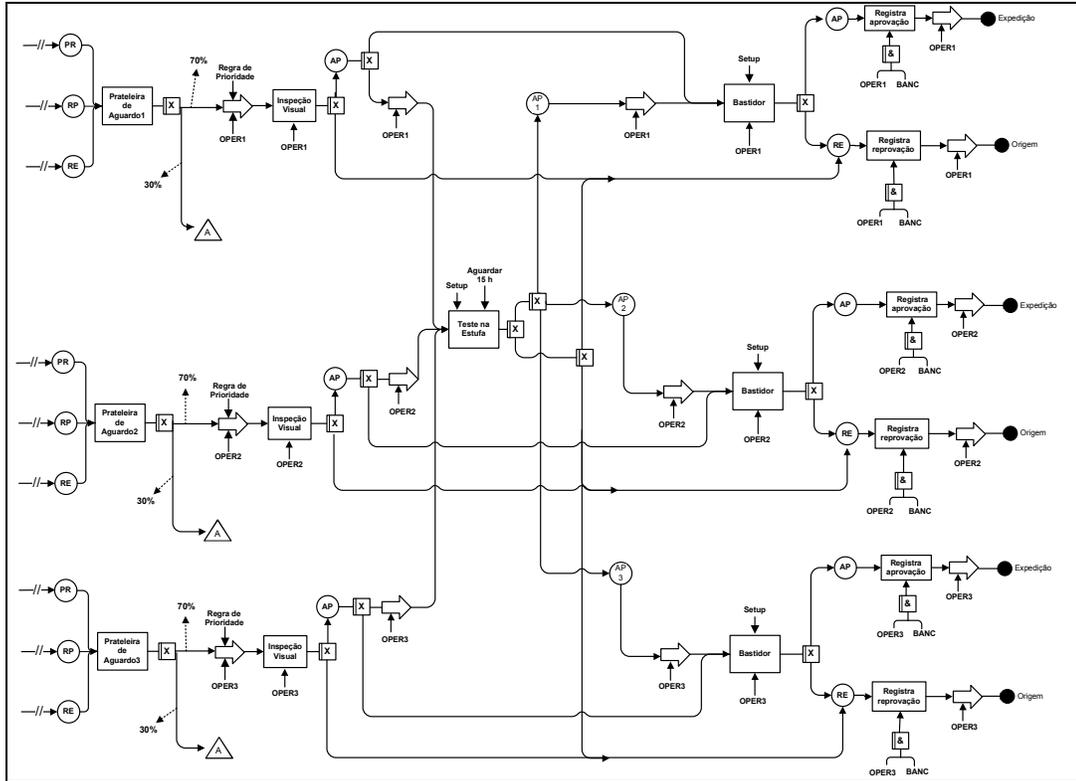


Figura 6.29 – Modelo conceitual do cenário coringa parte 1

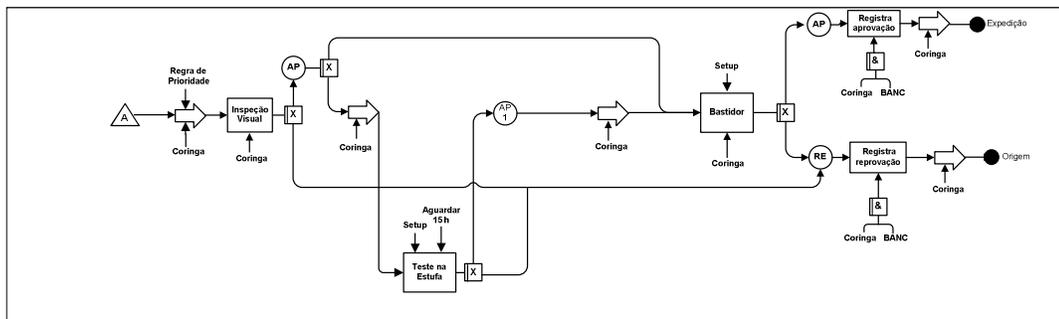


Figura 6.30 – Modelo conceitual do cenário coringa parte 2

e) Cenário 5: Dois operadores

Neste cenário, considerou-se que somente dois operadores trabalhariam na célula. Para tanto, eliminou-se o operador 2, mantendo sua bancada. Assim, as famílias de peças a serem testadas pelo operador eliminado seriam testadas pelo operador 1 ou pelo operador 3, entretanto nos locais de teste do operador 2. Estas mudanças estão representadas na figura 6.31 do modelo conceitual do cenário.

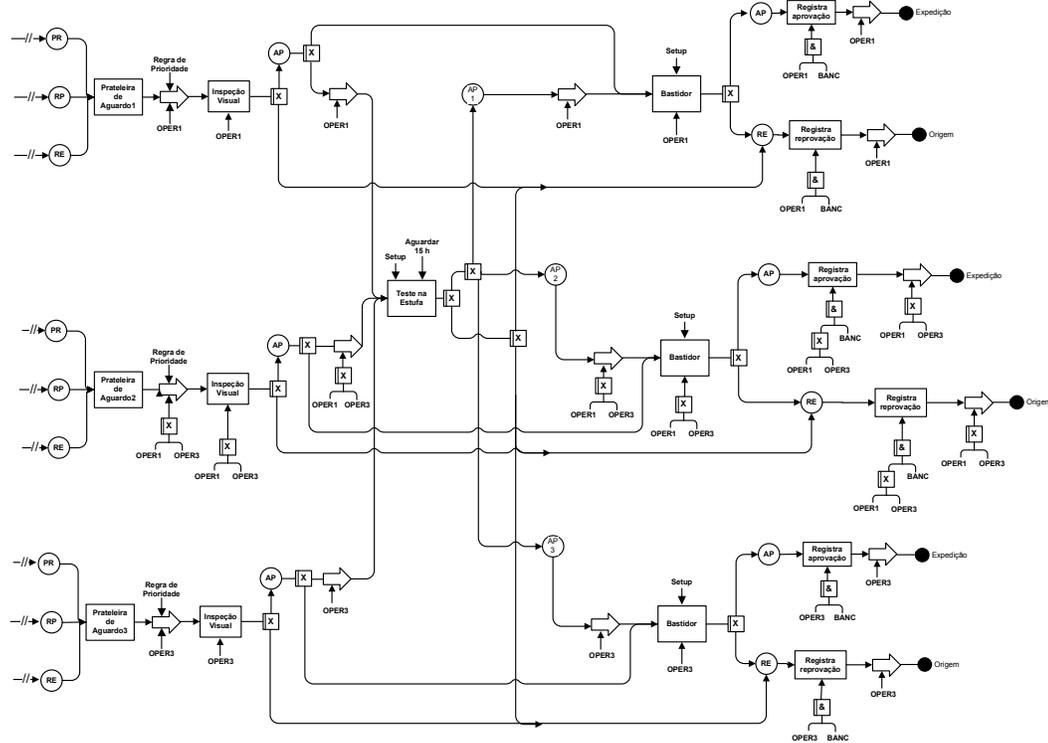


Figura 6.31– Modelo conceitual do Cenário Dois operadores

f) Cenário 6: Reporte

Durante o processo de cronometragem, pôde-se perceber que os operadores gastavam um tempo considerável na atividade de registrar a aprovação e reprovação, ou seja, a atividade de reporte. Em conversa com os operadores, foi possível pensar em alternativas para se reduzir o tempo desta atividade, como eliminação de algumas etapas repetitivas e melhorias no software utilizado para o registro. A redução estimada foi de 50% do tempo de reporte. Este valor foi considerado razoável pelos operadores e por funcionários de TI (Tecnologia da Informação) contatados na empresa.

As alterações propostas encontram-se em destaque no modelo conceitual do cenário presente na figura 6.32.

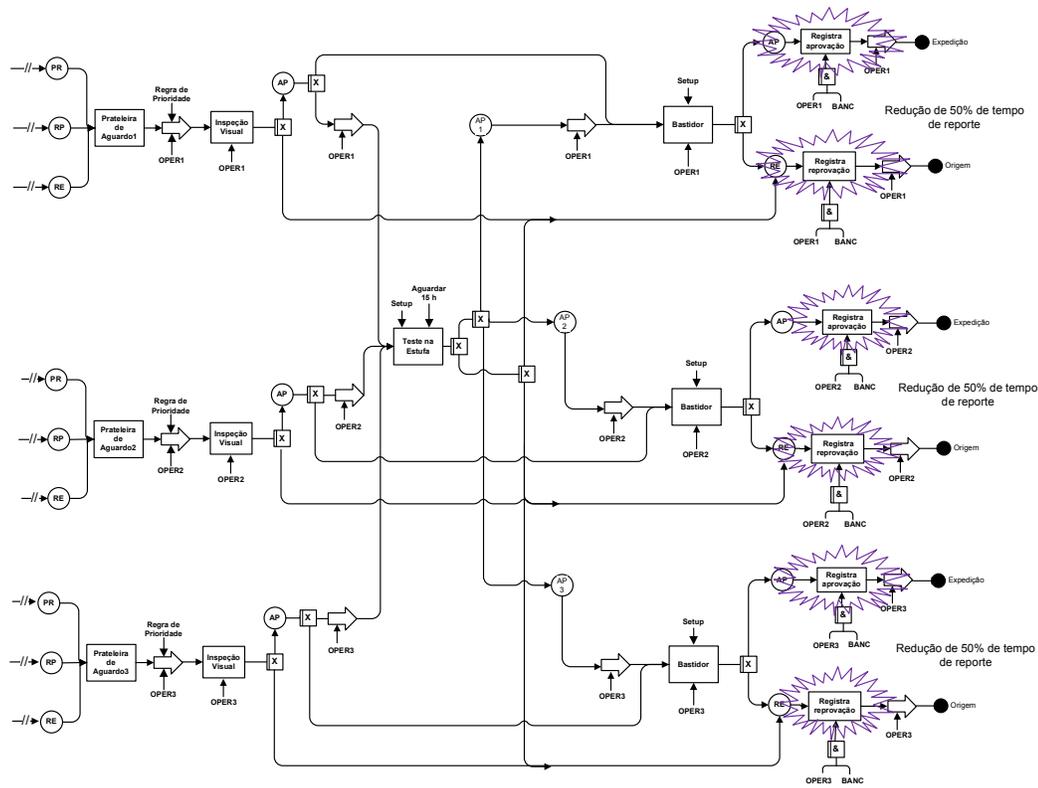


Figura 6.32– Modelo Conceitual do Cenário Reporte

g) Cenário 7: Hora extra

Outra proposta levantada para a construção de um novo cenário foi considerar que os operadores trabalhassem em um período de hora extra. A realização de hora extra pelos funcionários é uma política adotada na empresa quando necessário. Normalmente, os operadores não trabalham mais do que 16 horas extras em um mês. Esta foi então a quantidade de horas escolhida para representar a realização de hora extra no cenário a ser construído. Na figura 6.33 tem-se o modelo conceitual que representa este cenário de hora extra, bem como a alteração proposta e o recurso afetado por esta alteração.

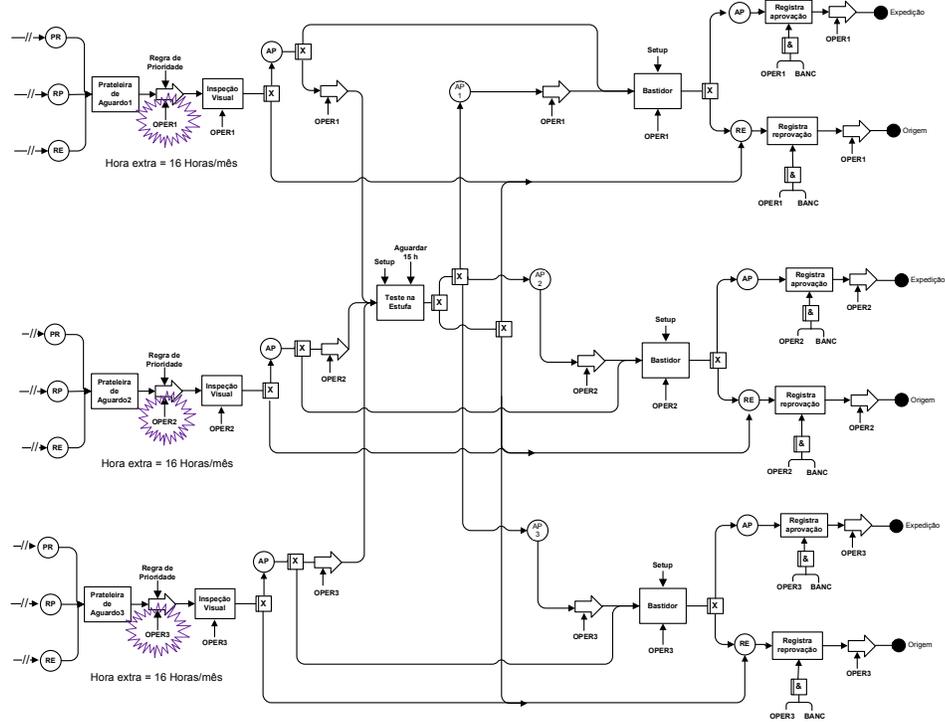


Figura 6.33 – Modelo conceitual do Cenário Hora extra

h) Cenário 8: Duplicar Operador 1

Assim como o cenário de um operador coringa, este cenário também apresenta um quarto operador. Entretanto, este operador extra realizará as mesmas atividades realizadas pelo operador 1. Por isso deu-se o nome “Duplicar operador 1” a este cenário.

A proposta presente neste cenário se torna interessante à empresa se houver um aumento da demanda de produtos testados pelo operador a ser duplicado, neste caso o operador 1. A seguir, na figura 6.34, tem-se o modelo conceitual deste cenário com a alteração proposta em destaque.

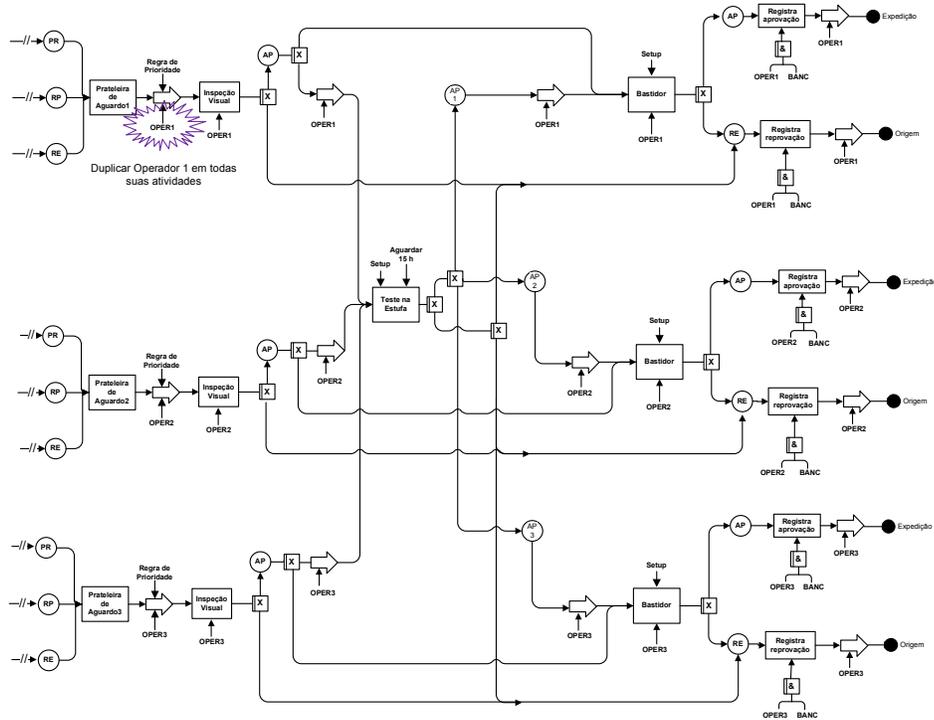


Figura 6.34 – Modelo conceitual do cenário Duplicar Operador 1

i) Cenário 9: Duplicar Operador 2

Na mesma linha de pensamento do cenário anterior, este cenário também apresenta um quarto operador. Entretanto, neste cenário o operador extra realiza as mesmas atividades do operador 2, proposta em destaque no modelo conceitual na figura 6.35.

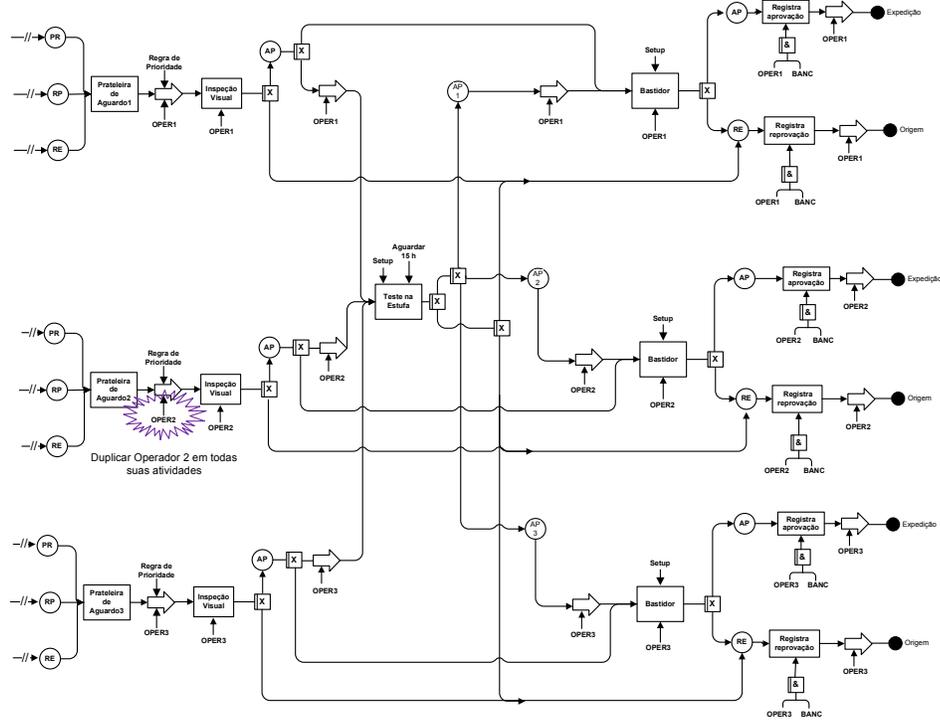


Figura 6.35 – Modelo conceitual do cenário Duplicar operador 2

j) Cenário 10: Duplicar Operador 3

Assim como os dois cenários anteriores, este cenário apresenta como proposta duplicar um determinado operador. A diferença é que neste cenário o quarto operador realiza as mesmas atividades do operador 3 da célula. Esta alteração pode ser visualizada no modelo conceitual do presente cenário, na figura 6.36.

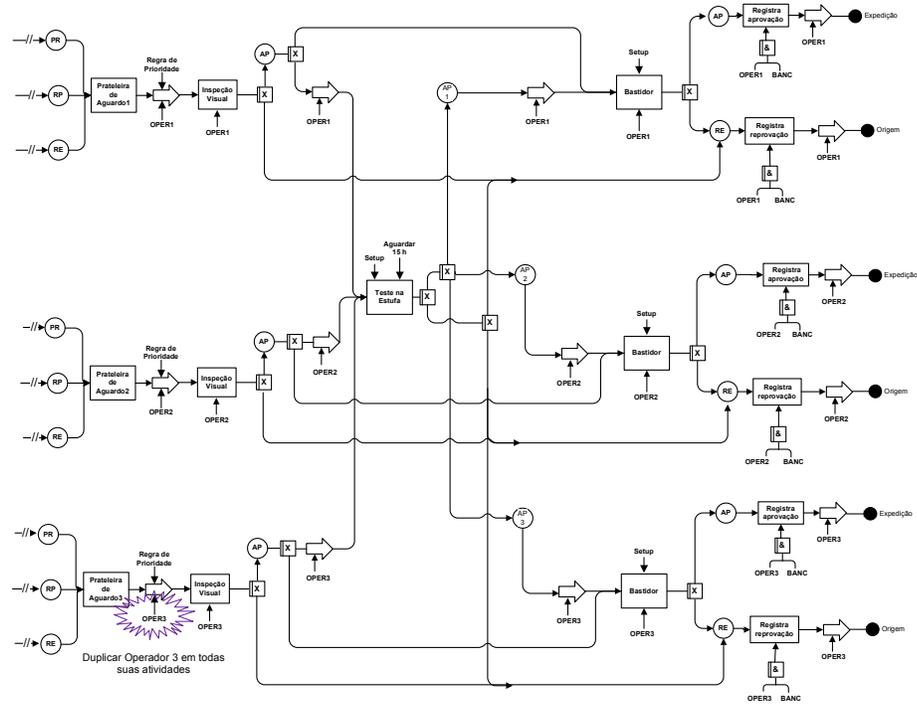


Figura 6.36 – Modelo conceitual do cenário Duplicar operador 3

k) Cenário 11: Duplicar todos os operadores

Já para este cenário considerou-se a possibilidade de duplicar todos os operadores atualmente presentes na célula de controle de qualidade. Este cenário pode ser interessante para empresa quando a mesma tiver um aumento considerável da demanda de todas as famílias de seus produtos. Na figura 6.37, tem-se o modelo conceitual do cenário em questão, bem como as alterações propostas para a construção do mesmo.

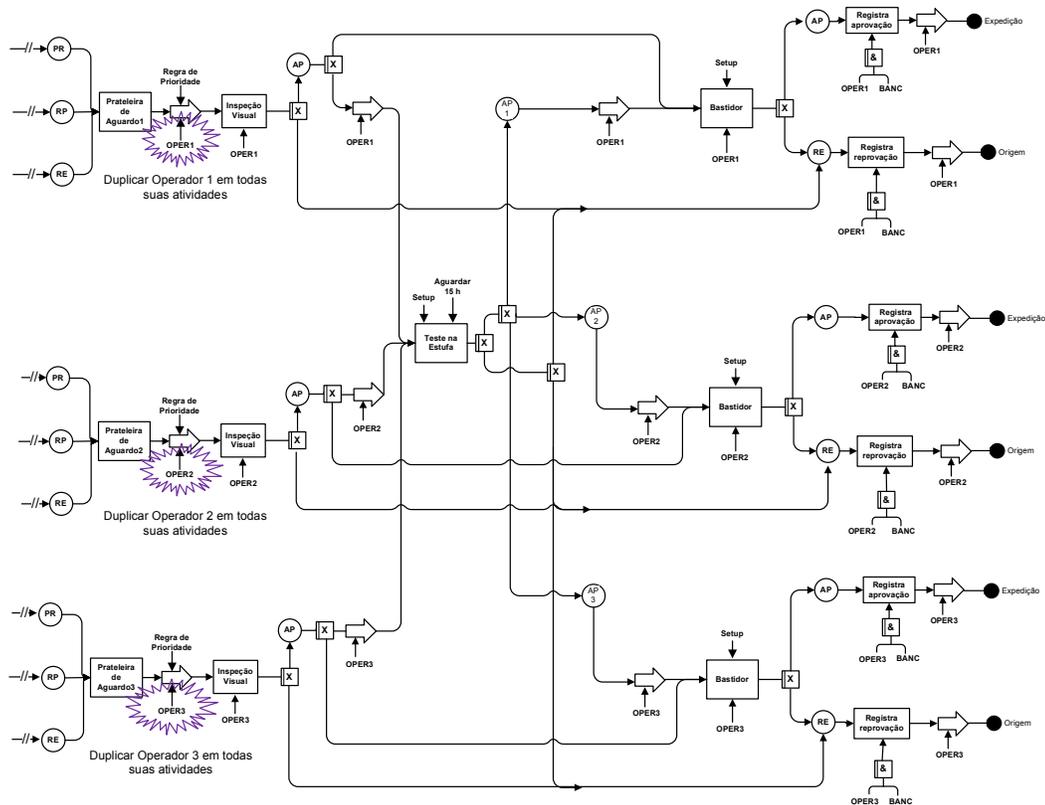


Figura 6.37 – Modelo conceitual do cenário Duplicar todos os operadores

Todos os modelos conceituais dos cenários propostos foram apresentados em reunião aos gestores, a fim de que os mesmos pudessem escolher os que mais lhes interessava e também que fossem propostos outros cenários que contemplassem possíveis mudanças não presentes nos cenários anteriores.

Os gestores optaram pela construção de modelos computacionais de todos os cenários e nenhum novo cenário foi proposto. É importante ressaltar que não houve nenhuma dificuldade, por parte dos presentes na reunião, em entender o que seria feito em cada cenário proposto. A familiaridade dos envolvidos com a técnica IDEF-SIM e o símbolo de *Kaizen* utilizado para destacar as alterações presentes em cada cenário auxiliaram no entendimento das propostas feitas e na comunicação entre a pesquisadora e gestores envolvidos no projeto por parte da empresa.

6.6.5 Implementação

Uma vez escolhidos os cenários, os mesmos puderam então ser construídos no mesmo simulador utilizado para a construção dos modelos computacionais anteriores, o *software Promodel®*.

Da mesma forma em que se demonstrou no ciclo anterior como trechos do modelo conceitual foram traduzidos em programação do modelo computacional, serão apresentados a seguir alguns trechos do modelo conceitual dos cenários, para assim identificar se a técnica IDEF-SIM auxilia no processo de conversão no ciclo de análise.

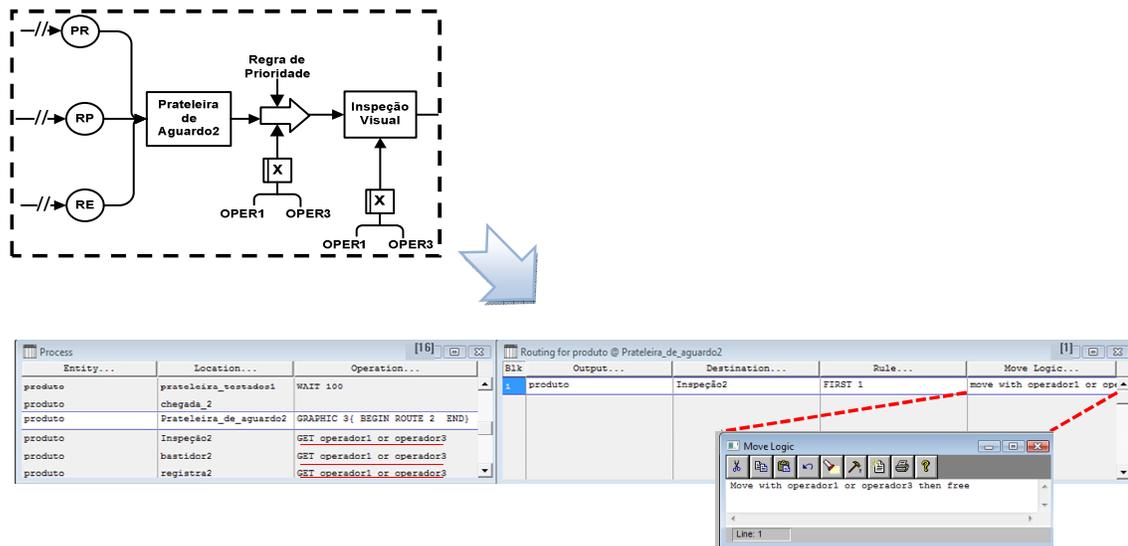


Figura 6.38 – Trecho do modelo conceitual do cenário “dois operadores” convertido em modelo computacional. No cenário “Dois operadores” o operador identificado por “operador 2” é eliminado, assim todas as atividades que seriam destinadas a ele podem então ser realizadas tanto pelo “operador 1” quanto pelo “operador 3”. Entretanto, os locais de realização de testes do grupo de famílias do operador eliminado, como por exemplo, prateleira, local de inspeção, bastidor e bancada serão mantidos.

No trecho do modelo conceitual deste cenário presente na figura 6.38, pode-se perceber que os produtos a serem testados pelo operador, representados pelas entidades, chegam à prateleira de aguardo 2. Entretanto estes produtos podem ser transportados pelo operador 1 ou pelo operador 3 até a inspeção visual, onde qualquer destes dois operadores poderá realizar esta atividade. Esta opção alternativa entre os operadores 1 e 3 está representada no modelo pela junção “ou” (X) tanto na atividade de transporte quanto na atividade de inspeção visual no trecho escolhido.

Já no trecho da programação do modelo computacional da mesma figura, a informação representada pela junção “X”, ou seja, que o transporte e as atividades podem ser realizadas pelo operador 1 ou operador 3 encontra-se indicada tanto na regra de movimentação (*Move Logic*) para o caso dos transporte, quanto na parte da descrição da operação, chamando

operador 1 ou operador 3 para realizar a atividade em questão (“Get operador 1 or operador 3”) ambos em destaque na figura 6.39.

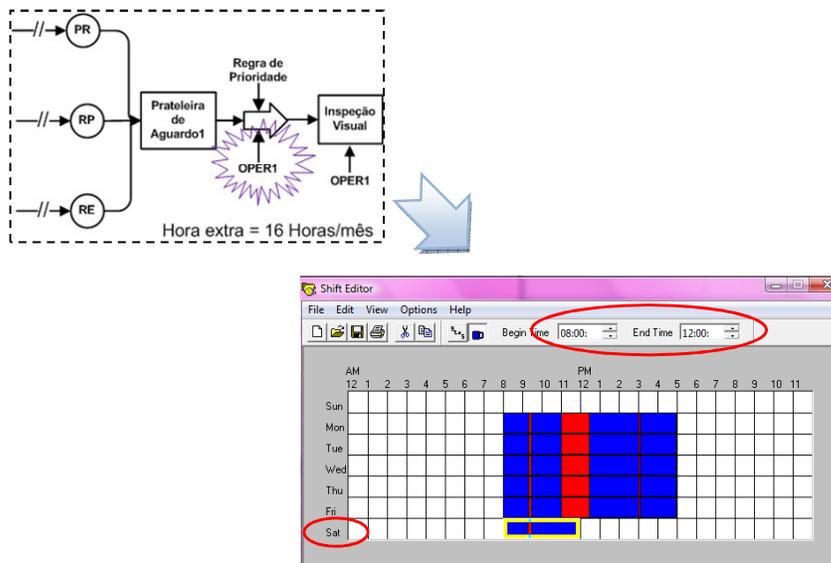
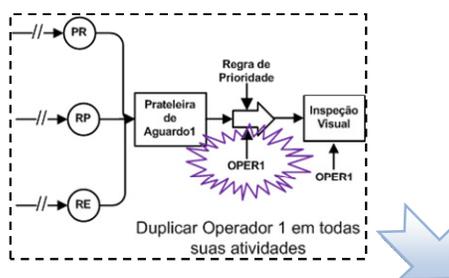


Figura 6.39 – Trecho do modelo conceitual de cenário “Hora extra” convertido em modelo computacional

Neste trecho do modelo conceitual do cenário “Hora extra” na figura 6.39, a mudança proposta em destaque é que se tenha 16 horas extras de trabalho por mês para cada operador, ou seja, 4 horas extras/semana. Este tipo de informação é traduzido no modelo computacional quando se programa os turnos dos operadores, definindo o número de horas de trabalho (retângulos azuis) e ainda períodos de descanso como café e almoço (retângulos vermelhos), conforme pode ser visto também na mesma figura.

Para o turno escolhido, diferentemente dos demais cenários, os operadores terão um período extra de trabalho. Neste caso especificamente, o período extra corresponde a quatro horas trabalhadas no sábado de manhã, conforme instruções dos gestores da célula.



Icon	Name	Units	DTa...	State...	Specs...	Search...	Logic...	Pos...	Notes...
	Operador1	2	None	By Unit	rede_operador1, N1, None		1	1	
	Operador2	1	None	By Unit	rede_operador2, N1, None		0	1	
	Operador3	1	None	By Unit	rede_operador3, N1, None		0	1	

Figura 6.40 – Trecho do modelo conceitual do cenário “Duplicar operador1” convertido em computacional

No trecho do modelo conceitual do cenário “Duplicar Operador 1” a mudança proposta em destaque pelo símbolo do *kaizen* é a duplicação do recurso operador 1 em todas as atividades onde sua presença é solicitada. A tradução desta informação para o modelo computacional encontra-se em uma linha de programação onde se podem escolher quantas unidades do recurso programado serão utilizadas. No caso deste cenário tem-se a indicação que duas unidades do recurso operador 1 serão utilizadas, conforme encontra-se em destaque na figura 6.40.

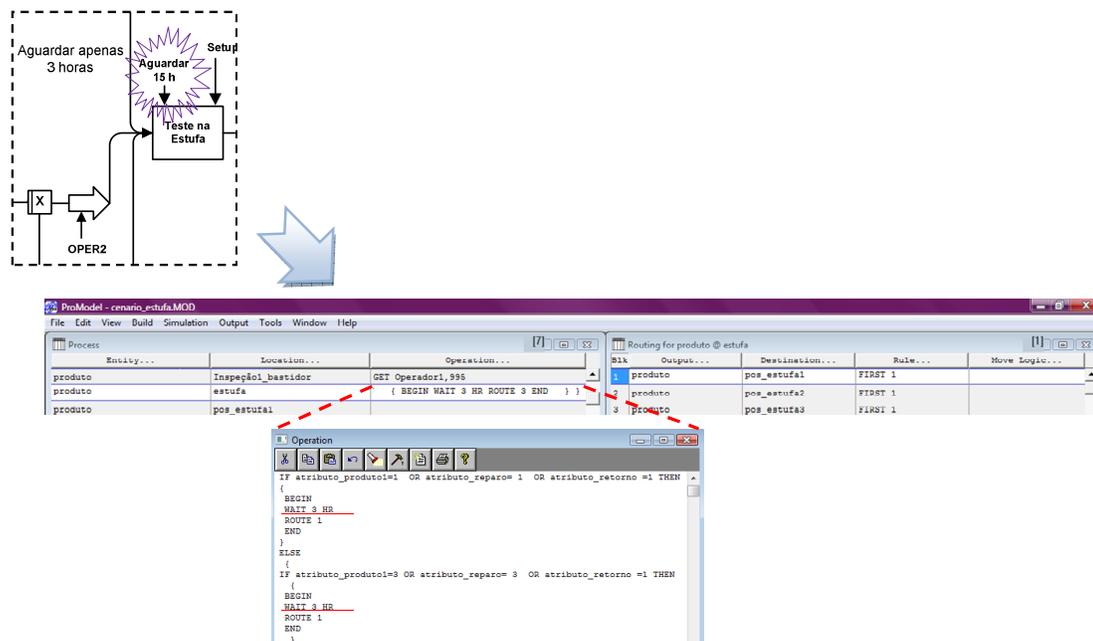


Figura 6.41– Trecho do modelo conceitual do cenário “Estufa” convertido em modelo computacional

Neste trecho do modelo conceitual do cenário estufa, o símbolo de explosão do *Kaizen* sobre um dos controles da estufa indica que o tempo de permanência das peças a serem testadas neste local será de apenas 3 horas, e não mais 15 horas como anteriormente.

No modelo computacional esta informação encontra-se traduzida na programação, mais especificamente na descrição da operação em questão, como pode ser visto na figura 6.41. O tempo atualizado de permanência de cada produto no local da estufa está destacado por uma linha vermelha.

Uma vez traduzidas as informações do modelo conceitual em modelo computacional, pode-se então construir os cenários. Foram criados onze modelos computacionais, cada qual relacionado a um cenário proposto. O simulador escolhido para construção destes cenários foi o software *Promodel*®, já utilizado anteriormente.

6.6.6 Avaliação

Neste último passo do ciclo de análise, o principal objetivo é avaliar os resultados das atividades realizadas no passo anterior. Portanto, ir-se-á avaliar os resultados gerados pelos modelos computacionais dos cenários propostos e verificar ainda se estes resultados forneceram informações suficientes para aumentar o conhecimento dos gestores sobre a célula, principalmente seu comportamento frente a certas mudanças.

Cada modelo computacional dos onze cenários criados foi executado por cinco vezes e a média dos resultados gerados encontra-se na tabela a seguir. Nestes resultados estão presentes o total de peças testadas, o total de peças reprovadas e o total de peças testadas por família de produtos, para um período de um mês, conforme visto na tabela 6.4.

		Cenário 1 Capacidade	Cenário 2 Automação	Cenário 3 Estufa	Cenário 4 Coringa	Cenário 5 2 operadores	Cenário 6 Reporte	Cenário 7 Hora extra	Cenário 8 Duplicar Oper. 1	Cenário 9 Duplica Oper. 2	Cenário 10 Duplica Oper. 3	Cenário 11 Duplicar todos
	Testados	2435	2934,8	2410,4	3177,8	1511,4	2923	2629,2	3086,2	3371,2	3235,4	4822,2
	Reprovados	132,6	148,4	126	126	59,8	147,2	139,2	140	216,6	143,2	251,8
Famílias	T100	290,4	366,6	278,8	369,8	227,2	326,4	296,4	622,8	288	273,4	611,2
	T25-4BR	184,6	245,6	198	213,8	164,2	216,4	205,4	342,4	187,4	183,6	285
	TC100	69,8	93,8	70,6	94	56,6	96,2	89,4	172,6	71,6	74,8	159,6
	BOA	246,6	298,6	258,2	332,4	61,8	300	256,6	241,4	512,6	248	507,8
	POA	133,4	155,4	140	185,2	43,4	162,8	138	131,8	272,6	130,2	268,4
	TM100	46,4	55,4	39,6	51,6	32,4	49	52,4	83	42,2	41,4	83,2
	LOA	160,2	190,6	164,6	223	48,4	192,2	170,6	167	316,2	162,8	324,6
	ROA	91,8	104,6	84	121,6	28,4	104	95,2	90,8	176,8	86	187,6
	CONVER	93,2	119,4	86,6	127	26,4	112	106,4	93,4	207,8	100,8	191,2
	ROADM	23,6	24,8	22,8	36,8	5,6	25,4	26,6	26,6	49	26,4	44,2
	BOASC	28,6	32,6	26	34,4	8,8	30,8	27,6	25	52,8	24,8	50,8
	POASC	5,6	7,8	7	10,8	1,6	7,4	7,4	6,8	11	4,4	12,2
	ROASC	1	1,4	0,8	2	0,8	0,4	0,8	0,6	0,4	0,8	0,2
	SUPERV	200	223	207,2	256	157,2	248	221,8	184,4	201,2	433	417,2
	FAN	236,6	259,6	251,6	299	189	287,8	246	235,4	229	469,6	456,2
	CANAL SUP	66,4	79	65,4	90,6	58,4	88,8	75	67	75,4	145	147,2
	PSUPPLY	94,8	99,6	99,2	117,2	77,8	112	97,2	82,6	90,2	203,2	200,2
OPS	46	53,2	44,6	59,4	36,6	53,4	52,8	49	45,8	108,4	100,4	
SHK	73,4	91,6	78,2	103,6	25,4	93,8	79,6	68,2	167,4	76,2	163,6	
OUTROS	58,6	76,6	57	75	35,2	64,6	59,2	66,4	81,2	59,8	100	

Tabela 6.4 – Resultados gerados pelos modelos computacionais dos cenários

O objetivo principal da construção dos cenários era avaliar como algumas possíveis mudanças afetariam o número de peças testadas mensalmente na célula de controle de qualidade. Para melhor analisar o efeito dessas mudanças compararam-se os resultados gerados em cada cenário com os resultados do cenário “Capacidade”. Cenário este que considera o funcionamento atual da célula, entretanto com uma entrada infinita de peças para que a taxa de entrada de peças a serem testadas não represente um gargalo e assim, a célula trabalhe em sua capacidade máxima. O gráfico na figura 6.42 a seguir ilustra a diferença percentual de cada cenário relacionado ao cenário “Capacidade”.

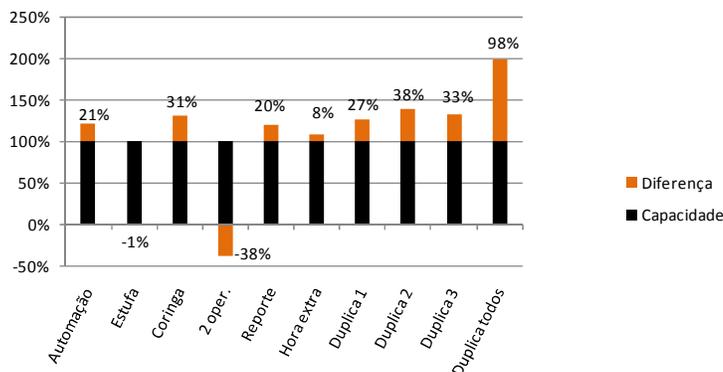


Figura 6.42 – Gráfico das diferenças percentuais dos cenários com relação ao cenário capacidade

No cenário “Automação”, onde uma das etapas de teste é automatizada, tem-se um aumento de 21% no número de peças testadas. Esta automação é uma mudança que ocorrerá num futuro próximo na célula em questão, sendo portanto de grande importância mensurar a reação da célula frente a esta alteração.

Já no cenário “Estufa” praticamente não se tem alteração no total de peças testadas ao se diminuir o tempo de duração das peças na estufa. Isso porque, o aumento do número de peças, gerado por uma frequência maior de peças testadas na estufa, não é absorvido pelo operador, ou seja, gera um acúmulo de peças a serem testadas na atividade posterior. A ligeira queda no número de peças pode ser explicada por um maior tempo dispensado na movimentação dos operadores ao buscarem as peças que saem da estufa a cada 3 horas.

O cenário “Coringa” apresenta um aumento de 31% no número de peças testadas mensalmente. É importante lembrar que para este cenário considerou-se que o novo operador testaria 30% das peças destinadas a cada operador. Entretanto, este valor pode ser facilmente alterado no modelo computacional, conforme interesse da empresa.

Para o cenário “2 operadores”, que representa a redução de um operador na célula, tem-se uma queda de 38% das peças testadas. Porém, cabe ressaltar que mesmo com esta queda, o número de peças testadas no cenário com apenas dois operadores é próximo ao número de peças testadas no modelo do cenário atual, ou seja, se a demanda atual fosse mantida seriam necessários apenas dois operadores para a realização de atividades na célula.

No cenário “reporte”, onde se propõem a redução do tempo da atividade de reporte em 50%, redução esta considerada possível tanto por operadores quanto por responsáveis da área de TI da empresa, tem-se um aumento de 20% no número de peças testadas mensalmente. Este cenário mostra-se interessante tanto pelo aumento no número de peças testadas quanto pela eliminação de atividades dentro do processo de reporte que não agregam valor a empresa.

Com o cenário “Hora extra” tem-se um pequeno aumento de 8% do número de peças testadas por mês. Este cenário foi baseado em uma realidade atualmente presente na empresa, quando há um aumento na demanda de peças. Entretanto, esta opção deve ser cuidadosamente pensada, uma vez que se têm custos relacionados à hora extra dos operadores, não considerados neste trabalho. Outra questão importante é que outros cenários, como o de reporte, apresentam um aumento percentual maior de peças testadas e ainda não envolve grandes custos na sua implementação.

Já nos cenários “Duplicar operador 1”, “Duplicar operador 2” e “Duplicar operador 3”, tem-se aumentos de 27%, 38% e 33%, respectivamente. Para cada um destes cenários existe um operador extra que irá realizar as mesmas atividades de um operador específico. A proposta destes três cenários é duplicar um determinado operador se a demanda das famílias testadas por ele sofrer um relativo aumento.

No último cenário tem-se o maior aumento percentual com relação ao número de peças testadas mensalmente, isso porque os três operadores presentes atualmente na célula são duplicados em um mesmo cenário. Esta proposta pode ser pensada se houver um aumento significativo na demanda de peças a serem testadas na célula de controle de qualidade.

Todos os resultados gerados dos modelos computacionais, gráficos, tabelas, bem como a análise de cada cenário, foram apresentados em reunião e entregues aos gestores da empresa em forma de relatório. Com este relatório em mãos, os tomadores de decisão da empresa poderão escolher quais mudanças deverão ocorrer na célula de controle de qualidade, cientes de como a mesma irá reagir.

6.7 Meta- passo: Monitoração do IDEF-SIM no ciclo 3

Neste passo ir-se-á avaliar como a técnica IDEF-SIM foi aplicada no terceiro e último ciclo desta pesquisa-ação, o ciclo de análise. Cabe ressaltar que nenhum trabalho encontrado na literatura faz uma análise do comportamento da técnica IDEF-SIM na etapa de análises de um projeto de simulação. Isso porque, em muitos destes projetos, o uso do modelo conceitual limita-se a etapa de implementação, mais especificamente na construção do modelo computacional.

Já no primeiro passo deste terceiro ciclo, o modelo conceitual em IDEF-SIM foi utilizado. O mesmo auxiliou na conversão do modelo computacional do ano de 2009 para o ano de 2010. Ao se atualizar os dados, usou-se o modelo conceitual para verificar se todas as alterações

estavam sendo realizadas corretamente. O grande nível de detalhamento fornecido pela técnica norteou facilmente as alterações a serem feitas no modelo computacional.

O uso da técnica IDEF-SIM se mostrou válido ainda no passo de planejamento da ação. Neste passo era necessário apresentar aos gestores, de uma forma clara, quais as propostas de cenários poderiam ser construídas. Para tanto, aproveitando-se da familiaridade dos envolvidos no projeto com a técnica de modelagem em questão, cada proposta foi apresentada em forma de modelo conceitual em IDEF-SIM. Aproveitou-se ainda de um símbolo já consagrado na filosofia *Lean*, o símbolo de *Kaizen*, para destacar qual recurso, entidade, controle ou atividade sofreria a alteração e qual seria esta mudança.

Realizar a apresentação das propostas dos cenários através dos modelos conceituais em IDEF-SIM foi de grande valia, pois assim os gestores puderam compreender com maior facilidade quais seriam as mudanças feitas na célula, dentro de cada proposta. O símbolo de *Kaizen* utilizado nos modelos destacou onde e quais seriam as alterações a serem realizadas com cada cenário. Pode-se dizer que o modelo conceitual neste passo promoveu uma melhor comunicação entre pesquisadora e membros-chaves da empresa. Entretanto, cabe ressaltar que isso só foi possível por algumas vantagens oferecidas pela técnica IDEF-SIM, como um grande nível de detalhamento com uma consequente representação fiel da realidade e ainda sua grande flexibilidade, que permite o uso de novos símbolos para destacar mudanças.

Para o passo de implementação neste ciclo, onde se construiu os modelos computacionais dos cenários, mais uma vez a técnica IDEF-SIM se mostrou aplicável. Sua lógica semelhante a da programação computacional, seu amplo nível de detalhes e ainda o símbolo de *Kaizen* associado a ela, graças a sua flexibilidade, facilitaram a construção do modelo computacional de cada cenário proposto, reduzindo tempo e esforços gastos neste processo.

7. Conclusão

Um projeto de simulação a eventos discretos foi desenvolvido em uma célula de controle de qualidade, a fim de se alcançar os dois objetivos desta dissertação. Um destes objetivos era promover através do projeto de simulação uma melhor visão do funcionamento do processo por parte dos gestores e ainda fornecer uma base para tomadas de decisão. O outro objetivo era, através de um passo presente no método pesquisa-ação que conduziu o trabalho, gerar um maior conhecimento sobre uma nova técnica de modelagem, chamada IDEF-SIM, principalmente no que diz respeito a sua aplicabilidade em todas as etapas deste mesmo projeto, sendo que nenhum trabalho presente na literatura apresenta esta análise.

Utilizar a pesquisa-ação como método para a condução do trabalho foi uma escolha de grande valia, uma vez que este método traz dois objetivos principais, um relacionado à ação, chamado objetivo prático, e o outro relacionado à pesquisa que é o objetivo do conhecimento. Esta divisão de objetivos corresponde fortemente às pretensões desta dissertação. Os passos bem embasados do método de pesquisa auxiliaram na condução do projeto, e cabe ressaltar que o passo de monitoração foi de extrema importância para que se analisasse o comportamento da técnica IDEF-SIM em cada etapa do projeto.

Pode-se dizer que objetivo prático desta dissertação foi atingido, uma vez que o modelo computacional construído permitiu um conhecimento maior por parte dos gestores do funcionamento da célula em estudo. Através da construção de diversos cenários, foi possível ainda simular algumas alterações no sistema em questão e assim analisar como a mesmo reagiria frente a algumas mudanças, principalmente com relação ao número de peças testadas, fornecendo aos gestores, portanto, uma base para futuras tomadas de decisão.

Para se atingir o segundo objetivo da dissertação, intitulado objetivo do conhecimento, utilizou-se do meta-passo de monitoração presente na pesquisa-ação. Foram completados três ciclos durante o trabalho, sendo que cada ciclo desenvolvido do método correspondia a uma etapa do projeto de simulação e a cada passo em que se utilizava a técnica de modelagem IDEF-SIM, avaliava-se o seu comportamento, principalmente no que se diz respeito às vantagens e desvantagens trazidas por esta a modeladores e usuários desta.

No primeiro ciclo da pesquisa-ação desenvolvida, ao se analisar os dados registrados através dos mapeamentos por fluxograma e SIPOC, percebeu-se que informações importantes relacionadas a transporte, recursos responsáveis pelas atividades, controles que regem as mesmas, e transições da entidade no processo não foram esclarecidas. Tais informações são

de extrema importância tanto para construção do modelo computacional em passos posteriores, quanto para documentação e um melhor entendimento da célula em estudo. Portanto, sentiu-se necessidade de utilizar uma técnica de modelagem mais completa e que permitisse um maior detalhamento do sistema.

Utilizou-se, portanto, a técnica em análise IDEF-SIM para modelar a célula de controle de qualidade da empresa. O modelo conceitual em IDEF-SIM do sistema foi apresentado aos gestores e a reação destes foi extremamente positiva, uma vez que eles não só compreenderam a nova técnica de modelagem, como ainda mostraram grande interesse em expor o modelo criado na própria célula, para que visitantes e funcionários da mesma pudessem compreender o funcionamento do processo. Para tanto, uma versão mais simplificada da técnica foi criada, reduzindo-se o nível de detalhes que seria melhor aproveitado por programadores de simulação.

Pode-se concluir com o uso do IDEF-SIM neste primeiro ciclo que esta técnica possibilita a representação de um sistema com um grande nível de detalhe, coletando assim informações importantes do processo em estudo. Apesar de ter uma lógica de construção voltada para modelos computacionais, esta pode ser considerada uma técnica de simples compreensão, uma vez que foi facilmente entendida por não especialistas em simulação. Esta sua facilidade de entendimento, juntamente com sua flexibilidade em permitir simplificações, faz com que a mesma possa ser utilizada também como forma de documentação do funcionamento da célula. Cabe dizer que um ponto negativo relacionado à técnica neste ciclo foi a digitalização dos modelos conceituais, por não haver nenhum software específico de construção de modelos em IDEF-SIM.

Já no segundo ciclo da pesquisa-ação, relacionado à implementação de um projeto de simulação, o modelo conceitual em IDEF-SIM do CQ foi utilizado como fonte de informações na construção do modelo. Durante a descrição deste ciclo, foi possível ilustrar como trechos do modelo foram convertidos em informações utilizadas na programação do modelo computacional da célula. Pode-se perceber que a simbologia de fácil entendimento, o alto nível de detalhe de representação da realidade e a lógica semelhante à utilizada na programação da técnica IDEF-SIM, auxiliaram no processo de construção de um modelo computacional, reduzindo tempo e esforços gastos neste processo e aumentando a fidelidade de representação deste mesmo modelo. O modelo conceitual em IDEF-SIM auxiliou ainda na identificação dos pontos de cronometragem, facilitando assim a coleta de demais dados necessários.

Durante este mesmo ciclo, utilizou-se do IDEF-SIM na etapa de verificação e validação do modelo computacional da célula. No processo de verificação, foi possível conferir através do modelo conceitual se nenhum elemento havia sido esquecido ou ainda se havia algum erro na lógica do modelo computacional. Já na validação face a face do modelo de simulação, o modelo conceitual em IDEF-SIM foi novamente apresentado aos gestores da empresa, para que os mesmos pudessem compreender qual a lógica utilizada no modelo computacional construído, facilitando assim o processo de validação do mesmo.

No terceiro e último ciclo da pesquisa-ação, relacionado à também última etapa de um projeto de simulação, foram necessárias algumas mudanças no modelo computacional já validado da célula, para que o mesmo se adequasse a nova realidade do sistema. Estas atualizações foram realizadas com facilidade, uma vez que, através do modelo conceitual em IDEF-SIM, foi possível verificar onde estas mudanças aconteceriam e se as mesmas foram realizadas corretamente.

Outro ponto importante do uso da técnica neste ciclo de análise foi na apresentação aos gestores de propostas de cenários a serem construídos. A pesquisadora aproveitou-se da familiaridade dos gestores com a técnica IDEF-SIM para apresentar estas possíveis mudanças em evidência nos modelos conceituais dos cenários. A pesquisadora utilizou-se ainda de um símbolo bastante conhecido no mapeamento da cadeia de valor, o símbolo *Kaizen*, para destacar quais seriam estas mudanças e qual entidade, recurso, controle, entrada, saída ou atividade seria afetada por elas.

Apresentar as propostas de cenários através de modelos conceituais em IDEF-SIM, juntamente com o símbolo de *kaizen*, foi um passo importante no projeto, uma vez que as alterações propostas em cada cenário e os elementos a serem afetados por elas foram ilustrados de uma forma clara e objetiva. A flexibilidade da técnica em aceitar um novo símbolo, bem como seu amplo nível de detalhe de representação da realidade, facilitou este processo de entendimento das propostas, promovendo assim uma melhor comunicação entre pesquisadora e membros-chaves da empresa.

Por fim, uma vez escolhidos os cenários por parte dos gestores, utilizou-se dos modelos conceituais em IDEF-SIM dos cenários propostos para a construção dos modelos computacionais destes mesmos cenários. Trechos destes modelos conceituais convertidos em programação computacional também foram apresentados no decorrer do trabalho, destacando assim como a técnica IDEF-SIM facilitou esta conversão.

Em suma, o objetivo do conhecimento foi atingido, já que foi possível analisar o uso do IDEF-SIM em todas as etapas de um projeto de simulação. Conclui-se que a técnica se mostra aplicável na etapa de concepção, coletando e documentando de forma detalhada informações importantes do processo, na etapa de implementação, facilitando a conversão do modelo conceitual em computacional e ainda sendo um forte auxílio no processo de verificação do modelo e validação com especialistas, e por fim, na etapa de análise, promovendo a comunicação entre modeladores e gestores na apresentação de mudanças propostas do sistema em questão, além de facilitar a construção dos modelos computacionais dos cenários, reduzindo tempos e esforços dedicados a este processo.

Como sugestões futuras, com relação à parte prática da dissertação, sugere-se que uma interface do modelo computacional construído seja desenvolvida, a fim de facilitar o uso do modelo por parte dos gestores da empresa. Com esta interface os mesmos poderiam alterar diversos parâmetros do modelo, conforme a realidade em constante mudança da célula em estudo. Já com relação à parte de geração de conhecimento deste trabalho, sugere-se que seja aplicada a pesquisa-ação para o desenvolvimento de um projeto de simulação no setor de serviços, para assim analisar como a técnica de modelagem IDEF-SIM se comportaria em um ambiente diferente da manufatura. Sugere-se ainda que outras técnicas de modelagem sejam utilizadas como forma de comparação.

ANEXO A

Relação dos trabalhos publicados pela autora:

- 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: **Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Foz do Iguaçu, PR, 2007.
- LEAL, F.; OLIVEIRA, M. L. M.; ALMEIDA, D. A. de; MONTEVECHI, J. A. B. Desenvolvimento e aplicação de uma técnica de modelagem conceitual de processos em projetos de simulação: o IDEF-SIM. In: **Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Salvador, BA, 2009.
- COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F. Simulação a eventos discretos como uma ferramenta para avaliação econômica de cenários em uma célula de manufatura. In: **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Porto Seguro, 2009.
- OLIVEIRA, M. L. M.; COSTA, R. F. S.; XAVIER, A. F.; ALMEIDA, D. A.; MONTEVECHI, J. A. B. Ensino do mapeamento Lean utilizando como recurso didático a simulação computacional a eventos discretos. In: **Anais do Simpósio de Engenharia de Produção**, Bauru, SP, 2009.
- OLIVEIRA, M. L. M.; FERNANDES, B.C.; RIBEIRO,J.R.; LIMA, R.da S. Uma visão estratégica da logística de distribuição: considerações sobre armazenagem, transportes e roteirização. In: **Anais do Simpósio de Engenharia de Produção**, Bauru, SP, 2009.
- OLIVEIRA, M.L.M. de; MIRANDA, R. de C.; MONTEVECHI, J.A.B.; LEAL, F. Desenvolvimento de um projeto de simulação a eventos discretos em uma célula de controle de qualidade de uma empresa de alta tecnologia. In: **Anais do XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Bento Gonçalves, RS, 2010.
- MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, A. L. F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Baltimore,USA, 2010.

Referências Bibliográficas

ABDULMALEK, F.A.; RAJGOPAL, J. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: a process sector case study. **International Journal of Production Economics**, v. 107, p. 223–236, 2007.

ADAMS, M.; COMPONATION, P.; CZARNECKI, H.; SCHROER, B. J. Simulation as a tool for continuous process improvement. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, ed. P. A. Farrington, 1999.

AGUILAR-SAVÉN, R.S. Business process modeling: Review and framework. **International Journal of Production Economics**, v.90, p.129-149, 2004.

AIGNER, W.; BERTONE, A.; MILKSCH, S.; TOMINSKI, C.; SCHUMANN. Towards a conceptual framework for visual analytics of time and time-oriented data. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Washington, USA, 2007.

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

BALDWIN, L. P.; ELDABI, T.; PAUL, R. J. Business process design: flexible modelling with multiple levels of detail. **Business Process Management Journal**, v. 11, n. 1, p. 22-36, 2005.

BANDARA, W.; GABLE, G.; ROSEMAN, M. Business Process Modelling Success: An Empirically Tested Measurement Model. In: **Proceedings of the International Conference on Information Systems**, p.1-20, Milwaukee, Wisconsin, USA, 2006.

BANKS, J. **Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice**. Ed. John Wiley & Sons, Inc., 864p, 1998.

BANKS, J.; CARSON, J.S.; NELSON, B.L.; NICOL, D.M. **Discrete-event system simulation**. 2 ed., New Jersey: Prentice Hall, 2005.

BARBER, K.D.; DEWHURST, F.W.; BURNS, R.L.D.H.; ROGERS, J.B.B. Business-process modeling and simulation for manufacturing management: A practical way forward. **Business Process Management Journal**, v. 9, n. 4, p. 527-542, 2003.

BARGELIS, A. STASIŠKIS, A. IDEF0 modelling technique to estimate and increase the process capability at the early product design stage. **MECHANIKA**, v.71, n.3, 2008.

BELMIRO, T.R.; PINA, A.A.D. A process modelling approach at xerox of Brasil. **Work Study**, v. 50, n. 7, p.269-275, 2001.

BERGUE, L.X. **Análise das potencialidades do uso da ferramenta de simulação computacional em operações logísticas: estudo de caso em um armazém geral**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BJORN, P.; BALKKA, E. Supporting the Design of Health Information Systems: Action Research as Knowledge Translation. **Proceedings of the 42nd Hawaii International Conference on System Sciences**, 2009.

BOEIRA, L. do M., **Simulação computacional: um estudo de caso em uma empresa fabricante de câmaras de ar pneumáticas**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

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.

BROOKS, R. J.; ROBINSON. S. **Simulation, with Inventory Control, Operational Research Series**. Basingstoke: Palgrave, 2001.

BRYMAN, A.; BEL, E. **Business research methods**, 2 ed., Oxford University Press, 2007.

CARDOSO, P.A. Interdisciplinaridade na prática: a experiência da Aplicação do software preactor como ferramenta de Integração curricular no curso de graduação em Engenharia de produção. **Revista Gestão Industrial**, 2007.

CARSON, J. S. Introduction to modeling and Simulation. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, USA, 2004.

CARVALHO, L.; SCOTT, L.; JEFERRY, R. An exploratory study into the use of qualitative research methods in descriptive process modeling. **Information and Software Technology** , v.47, p.113–127, 2005.

CASTILHO, M.R. **O uso da simulação computacional como ferramenta de auxílio à tomada de decisão: aplicação em empresa de papelão ondulado.** 2004. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia- Gerência de Produção e Ergonomia) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CAUCHICK, M. P. A. QFD no desenvolvimento de novos produtos: um estudo sobre a sua introdução em uma empresa adotando a pesquisa-ação como abordagem metodológica. **Produção**, v. 19, n. 1, p. 105-128, 2009.

CHRISPIM, E.M.; WERNECK, R.F. Contexto e prática em Engenharia de Produção: Estudo de caso de uma organização como fonte de conhecimento. In: **Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Ouro Preto, 2003.

CHUNG, C. A. **Simulation Modeling Handbook: a practical approach.** Washington D.C: CRC press, 2004.

CHUNG-LEE, L.; WEI, W.J. Action Research on Collaborative Design: A Case Study, In: **Proceedings of the 12th International Conference Computer Supported Cooperative Work in Design**, 2008.

CHWIF, L. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal.** 1999. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CHWIF, L.; PAUL, R.J.; BARRETTO, M.R.P. Combining the best of the two: an activity cycle diagram/condition specification approach. In: **Proceedings of the Fourth National Conference of the UK Simulation Society**, Nottingham Trent University, Nottingham, UK, p. 93–98,1999.

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

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

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações – manufatura e serviços: uma abordagem estratégica.** Editora Atlas, 2 ed., São Paulo, 2006.

COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F. Simulação a eventos discretos como uma ferramenta para avaliação econômica de cenários em uma célula de manufatura. In: **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Porto Seguro, 2009.

COSTA, R.F.S.; MONTEVECHI, J. A. B.; PAMPLONA, M. S. F.; MEDEIROS, A. L.; SILVA, A. L. F.; FRIEND, J. D. Discrete-event simulation and activity-based costing to aid the decision making process in a manufacturing cell. In: **The International Workshop on Applied Modelling & Simulation**, Búzios, RJ, 2010.

COUGHLAN, D.; BRANNICK, T. **Doing action research in your own organization**. 2 ed., SAGE, 2005.

COUGHLAN, P.; COGHLAN, D. Action research for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

DAMJI, N. Business process modelling using diagrammatic and tabular techniques. **Business Process Management Journal**, v. 13, n. 1, p. 70-90, 2007.

DÁVALOS, R. V. O uso de recursos computacionais para dar suporte ao ensino de Pesquisa Operacional. **Cobenge**, 2001.

DAVENPORT, T. H. **Reengenharia de processos**. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

DOLOI, H.; FAAFARI, A. Conceptual simulation model for strategic decision evaluation in project management. **Logistics information management**, v. 15, n 2, p. 88-104, 2002.

DONATELLI, A.; HARRIS, G. Combining Value Stream Mapping and Discrete Event Simulation. In: **Proceedings of the Huntsville Simulation Conference**, San Diego, CA, 2001.

EHM, H.; MCGINNIS, L.; ROSE, O. Are simulation standards in our future? In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Austin, USA, 2009.

FERNADES, M. M. **Análise do processo de seleção de projetos seis sigma em empresas de manufatura no Brasil**. 2006. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2006.

FRANCO, M.A.S. Pedagogia da Pesquisa-Ação. **Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 483-502, 2005.

FULSCHER, J.; POWELL, S.G. Anatomy of a process mapping workshop. **Business Process Management Journal**, v.5, n.3, p.208-237, 1999.

GIANNASI, F., LOVETT, P.; GODWIN, A. N. Enhancing confidence in discrete event simulations. **Computers in Industry**, v. 44, p.141-157, 2001.

GILL, P. J. Application development: business snapshot business modeling tools help companies align their business and technology goals. **Information Week**, 1999.

GINGELE, J.; CHILDE S.J.; MILES, M. E. A modelling technique for re-engineering business processes controlled by ISO 9001. **Computers in Industry**, v.49, p. 235–25, 2002.

GLASSEY, O. A case study on process modelling - Three questions and three techniques. **Decision Support Systems**, v.44, p. 842–853, 2008.

GREASLEY, A. Using business-process simulation within a business-process reengineering approach. **Business Process Management Journal**, v.9, n.4, p. 408-420, 2003.

GREASLEY, A. Using process mapping and business process simulation to support a process-based approach to change in a public sector organization. **Technovation**, v.26, p. 95–103, 2006.

HABCHI, G.; BERCHET, C. A model for manufacturing systems simulation with a control dimension. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v.11, p.21–44, 2003.

HARRELL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation Using Promodel**. 3. ed., Boston: McGraw-Hill, 2000.

HARREL, C. R.; MOTT, J. R. A.; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOGG, T.J. **Simulação: otimizando os sistemas**. Tradução de Alain de Norman et d’Audenhove. 2. Ed. São Paulo: Imam, 2002.

HARRINGTON, J. **Aperfeiçoando processos empresariais**. São Paulo: Makron Books, 1993.

HERNANDEZ-MATIAS, J.C.; VIZAN, A.; PEREZ-GARCIA, J. & RIOS, J. An integrated modeling framework to support manufacturing system diagnosis for continuous improvement. **Robotics and computer-integrated manufacturing**, v.24, n.2, p.187-199, 2008.

HIRAO, M.; SUGIYAMA, H.; FISCHER, U.; HUNGERBUHLER, K. IDEF0 Activity Modeling for Integrated Process Design Considering Environmental, Health and Safety (EHS) Aspects. In: **Proceedings of the 18th European Symposium on Computer Aided Process Engineering**, 2008.

INDULSKA, M.; CHONG, S.; BANDARA, W.; SADIQ, S.; ROSEMANN, M. Major Issues in Business Process Management. In: **Proceedings of the 17th Australasian Conference on Information Systems**, 2006.

JEONG, K. Y. Conceptual frame for development of optimized simulation based scheduling systems. **Expert Systems with Applications**, v.18, n.4, p. 299–306, 2000.

JEONG, K.Y.; CHO, H.; PHILLIPS, D.T., Integration of queuing network and IDEF3 for business process analysis. **Business Process Management Journal**, v. 14, n. 4, p. 471-482, 2008.

JEONG, K.Y.; WU, L.; HONG, J.D. IDEF method-based simulation model design and development. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v.2, p. 337-359, 2009.

JOAQUIM, E.D. **Análise de um novo centro cirúrgico para o hospital universitário Cajuru: estudo de caso baseado em simulação computacional**. 2005. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2005.

KETTINGER, W.J.; TENG, J.T.C.; GUHA, S. Business process change: a study of methodologies, techniques, and tools. **MIS Quarterly**, v.21, n.1, p.55–80, 1997.

KIM, C.H.; YIM, D.S.; WESTON, R. H. An integrated use of IDEF0, IDEF3 and Petri net methods in support of business process modeling. **Proc Instn Mech Engrs**, v. 21, 2001.

KIM, C.H.; WESTON, R.; HODGSON, A.; LEE, K. The complementary use of IDEF and UML modelling approaches. **Computer in Industry**, v.50, p.35–56, 2003.

KLEIJNEN, J.P.C. Theory and Methodology: Verification and validation of simulation models. **European Journal of Operational Research**, v.82, p.145-162, 1995.

KLEIJNEN, J.P.C.; SANCHEZ, S.M.; LUCAS, T.W.; CIOPPA, T.M. State-of-the-Art Review: A User's Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments. **Journal on Computing**, v.17, n.3, p. 263–289, 2005.

KLOTZ, L.; HORMAN, M.; BI, H.H.; BECHTEL, J. The impact of process mapping on transparency. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 57, n. 8, p. 623-636, 2008.

KOTIADIS, K.; ROBINSON, S. Conceptual modeling: knowledge acquisition and model abstraction. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, USA, 2008.

KUMAR, S.; PHROMMATHED, P. Improving a manufacturing process by mapping and simulation of critical operations. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.17, n.1, p. 104-132, 2006.

KUMAR, S.; SRIDHARAN, R. Simulation modeling and analysis of tool sharing and part scheduling decisions in single-stage multimachine flexible manufacturing systems. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v.23, p. 361–370, 2007.

LAGUNA, M.; MARKLUND, J. **Business Process Modelling, Simulation, and Design**, Pearson Education. Upper Saddle River, New Jersey, 2005

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 3.ed., New York: McGraw-Hill, 2000.

LAW, A.M. How to build valid and credible simulation models. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Monterey, CA, USA, 2006.

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: **Anais do 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. Análise do efeito interativo de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados. 238 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.

LEAL, F.; OLIVEIRA, M. L. M.; ALMEIDA, D. A. de; MONTEVECHI, J. A. B. Desenvolvimento e aplicação de uma técnica de modelagem conceitual de processos em projetos de simulação: o IDEF-SIM. In: **Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Salvador, BA, 2009.

LI, Q.; CHEN, Y.L. **Modeling and analysis of enterprise and information systems: from requirements to realization**. Springer, 2009.

LOPES, R. de M.L. **Gestão do conhecimento: o desafio de um novo paradigma como alternativa estratégica para implantação na câmara de deputados**. 2002. 59 f. Monografia (Curso de especialização em desenvolvimento gerencial)- Secretaria de empreendimentos da Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

MA, Z.; ZHANG, W.; MA, W. Extending IDEF1X to model fuzzy data. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v.13, n.4, p. 295–307, 2002.

MADISON, D. **Process Mapping, Process Improvement and Process Management**. Paton Press, 2005.

MAHFOUZ, A.; HASSAN, S.A.; ARISHA, A. Practical simulation application: Evaluation of process control parameters in Twisted-Pair Cables manufacturing system. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v.18, p. 471–482, 2010.

MARTINS, R.A., Abordagens quantitativa e qualitativa In: Paulo Augusto Cauchick Miguel. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. São Paulo: Editora Campus Elsevier, p. 45-61, 2009.

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.

MCDONALD, T.; VAN AKEN, E.M.; RENTES, A.F. Utilizing simulation to enhance value stream mapping: a manufacturing case application. **International Journal of Logistics: Research and Applications**, n.5, p.213–232, 2002.

MELÃO, N.; PIDD, M. Using component technology to develop a simulation library for business process modeling. **European Journal of Operational Research**, v.172, p.163–178, 2006.

MELLO, de. A.E.N.S. **Aplicação do Mapeamento de Processos e da simulação no desenvolvimento de projetos de processos produtivos**. 2008. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008.

MENDLING, J.; REIJERS, H.A.; VAN DER AALST, W.M.P. Seven process modeling guidelines (7PMG). **Information and Software Technology**, v.52, p.127-136, 2010.

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. de; COSTA, R.F. da S.; MARINS, F.A.S.; MARINS, F.F.; JESUS, J.T. de. Combined use of modeling techniques for the development of the conceptual model in simulation projects. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Miami, USA, 2008.

MONTEVECHI, J. A. B.; COSTA, R. F. S.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; JESUS, J. T. Economic evaluation of the increase in production capacity of a high technology products manufacturing cell using discrete event simulation. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Austin, USA, 2009.

MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, A. L. F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Baltimore, USA, 2010.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 2.ed., Editora LTC, 2003.

MORABITO R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. In: Paulo A. C. Miguel. (Org.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**, 1 ed., Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2010.

MUEHLEN ZUR, M.; INDULSKA, M. Modeling languages for business processes and business rules: A representational analysis. **Informat. Systems**, 2009.

NASEER, A.; ELDABI, T.; JAHANGIRIAN, M. Cross-sector analysis of simulation methods: a survey of defense and healthcare. **Transforming Government: People, Process and Policy**, v. 3, n. 2, 2009.

NAZZAL, D.; MOLLAGHASEMI, M.; ANDERSON, D.A. Simulation-based evaluation of the cost of cycle time reduction in Agere Systems wafer fabrication facility: a case study. **International Journal of Production Economics**, v.100, p. 300-313, 2006.

NIST-MEP Lean. Lean Certificate Series, NIST Manufacturing Extension Partnership, Gaithersburg, MD, 2000.

NUNES, A. F. **Aspectos da aplicação do IDEF-SIM na construção e documentação de modelos conceituais em projetos de simulação**. 2010. 191 f. Dissertação (Mestrado em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional) - Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, RJ, 2010.

NURCAN, S.; ETIEN, A.; KAABI, R.; ZOUKAR, I.; ROLLAND, KC. A strategy driven business process modelling approach. **Business Process Management Journal**, v. 11, n. 6, p. 628-649, 2005.

O'KANE, J.F.; SPENCELEY, J.R.; TAYLOR, R. Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems. **Journal of Materials Processing Technology**, v.107, p. 412-424, 2000.

OLIVEIRA, M. L. M.; COSTA, R. F. S.; XAVIER, A. F.; ALMEIDA, D. A.; MONTEVECHI, J. A. B. Ensino do mapeamento Lean utilizando como recurso didático a simulação computacional a eventos discretos. In: **Anais do Simpósio de Engenharia de Produção**, Bauru, SP, 2009.

OLIVEIRA, M.L.M. de; MIRANDA, R. de C.; MONTEVECHI, J.A.B.; LEAL, F. Desenvolvimento de um projeto de simulação a eventos discretos em uma célula de controle de qualidade de uma empresa de alta tecnologia. In: **Anais do XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Bento Gonçalves, RS, 2010.

OQUIST, P. The epistemology of action research. **Acta Sociologica**, v. 21, n. 2, 1978.

ÓRTIZ-HERNANDEZ, J.; NIETO-ARIZA E. M; ESTRADA-ESQUIVEL H.; RODRÍGUEZ-ORTIZ, G.; MONTES-RENDON, A. A theoretical evaluation for assessing the relevance of modeling techniques in business process modeling In: **Proceedings of the SOQUA'07**, Dubrovnik, Croácia, 2007.

PERERA, T.; LIYANAGE, K. Methodology for rapid identification and collection of input data in the simulation of the manufacturing systems. **Simulation Practice and Theory**, v.7, p. 645–656, 2000.

PIMENTA, S. G. Pesquisa-ação crítico-colaborativa: construindo seu significado a partir de experiências com a formação docente. **Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 521-539, 2005

POTTER, A.; YANG, B.; LALWANI, C. A simulation study of despatch bay performance in the steel processing industry. **European Journal of Operational Research**, v.179, p. 567–578, 2007.

RAJA, R.; RAO, K.S. Performance evaluation through simulation modeling in a cotton spinning system. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v.15, p. 1163-1172, 2007.

RASHID, M.M.; ISMAIL, H. Generic tool for measuring the reliability of product development processes. **Journal of Modelling in Management**, v.2, n.1, p. 71-93, 2007.

ROBINSON, S. Conceptual modeling for simulation: issues and research requirements. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Monterey, CA, USA, 2006.

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation part 1: definition and requirements. **Journal of the Operational Research Society**, v. 59, p. 278–290, 2008.

ROSEMANN, M. Potential pitfalls of process modeling: part A. **Business Process Management Journal**, v. 12, n. 2, p. 249-254, 2006.

ROSEMANN, M.; GREEN, P.; INDULSKA, M.; RECKER, J. C. Using Ontology for the Representational Analysis of Process Modelling Techniques. **International Journal of Business Process Integration and Management**, v.4, n.2, 2010.

RUOHONEN, T.; NEITTAANMÄKI, P.; TEITTINEN, J. Simulation model for improving the operation of the emergency department of special health care. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Monterey, CA, USA, 2006.

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

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

SÁNCHEZ, P.J. Fundamentals of simulation modeling. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Washington, USA, 2007.

SANDANAYAKE, Y.G.; ODUOZA, C.F.; PROVERBS, D.G. A systematic modelling and simulation approach for JIT performance optimization. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 24, p.735-743, 2008.

SANTOS L. C; VARVAKIS G. Projeto e análise de serviços : uma avaliação de técnicas de representação, **Produto e Produção**, v. 5, n.3., p. 01-16, 2001.

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

SEDERA, W; GABLE, G.; ROSEMAN, M.; SMYTH, R. A success model for business process modeling: findings from a multiple case study. In: **Proceedings of the Eighth Pacific Asia Conference on Information Systems**, Shanghai, China, p. 485-498, 2004.

SILVA, L.M.F.; PINTO M.de G.; SUBRAMANIAN, A. Utilizando o software arena como ferramenta de apoio ao ensino em engenharia de produção. In: **Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Porto Alegre, RS, 2007.

SIMON, K. **SIPOC DIAGRAM**. Disponível em:

<<http://www.isixsigma.com/library/content/c010429a.asp>>. Acesso em: 18/07/09.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 1997.

STACCINI, P.; JOUBERT, M.; QUARANTA, J.; FIESCHI, M. Mapping care processes within a hospital: from theory to a web-based proposal merging enterprise modelling and ISO normative principles. **International Journal of Medical Informatics**, v.74, p. 335-344, 2005.

STANDRIDGE, C. R.; MARVEL, J. H. Why lean needs simulation. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Monterey, USA, 2006.

SUSMAN, G. I.; EVERED, R. D. An assessment of the scientific merits of action research. **Administrative Science Quarterly**, v. 23, 1978.

TERZI, S.; CAVALIERI, S. Simulation in the supply chain context: a survey. **Computers in Industry**, v.53, p. 3-16, 2004.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. Cortez Editora, 14. ed., São Paulo, 2005.

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.

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

TSIRONIS, L.; GENTSOS, A.; MOUSTAKIS, G. Empowerment the IDEF0 Modeling Language. **International Journal of Business and Management**, v. 3, n. 5, 2008.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C.H. P., Pesquisa-ação na engenharia de produção. In: Paulo Augusto Cauchick Miguel. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. São Paulo: Editora Campus Elsevier, 2010.

VAN VOLSEM, S.; DULLAERT, W.; VAN LANDEGHEM, H. An Evolutionary Algorithm and discrete event simulation for optimizing inspection strategies for multi-stage processes. **European Journal of Operational Research**, v.179, p. 621–633, 2007.

YAN-LING, X.; FU-YUAN, X.; WEN-BO, H. Business process reengineering based on IDEF methods. In: **Proceedings of the 2004 International Conference Information Reuse and Integration**, 2004.

YIN, R.K. **Estudo De Caso: Planejamento e Métodos**, 3 ed., Bookman Companhia, 2005.

WANG, W.; BROOKS, R. J. Empirical investigations of conceptual modeling and the modeling process. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Washington, USA, 2007.

WANG, H.J.; ZHAO J. L.; ZHANG, L. Policy-Driven Process Mapping (PDPM): Discovering process models from business policies. **Decision Support Systems**, v. 48, p. 267–281, 2009.

WESTBROOK, R. Action research: a new paradigm for research in production and operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n. 12, p. 6-20, 1995.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOSE, D. **The Machine that changed the World**. New York, 1990.

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