



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO



FABIANO CUNHA MARINHO

**COMPENSAÇÃO DE CUSTOS: ESTUDO COM SIMULAÇÃO DE
EVENTOS DISCRETOS APLICADO A UMA EMPRESA DO RAMO
FARMACÊUTICO**

Volta Redonda/RJ

2017

FABIANO CUNHA MARINHO

**COMPENSAÇÃO DE CUSTOS: ESTUDO COM SIMULAÇÃO DE EVENTOS
DISCRETOS APLICADO A UMA EMPRESA DO RAMO FARMACÊUTICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração do Instituto de Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Administração.

Orientador: Ricardo César da Silva Guabiroba, D.Sc.

Volta Redonda/RJ

2017

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca do Aterrado de Volta Redonda da UFF

M338 Marinho, Fabiano Cunha

Compensação de custos: estudo com simulação de eventos discretos aplicado a uma empresa do ramo farmacêutico/ Fabiano Cunha Marinho. – 2017.

162 f.

Orientador: Ricardo César da Silva Guabiroba

Dissertação (Mestrado Profissional em Administração) – Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2017.

1. Compensação de custos. 2. Tomada de decisão. 3. Simulação de eventos discretos. 4. Indústria farmacêutica. I. Universidade Federal Fluminense. II. Guabiroba, Ricardo César da Silva, orientador. III. Título.

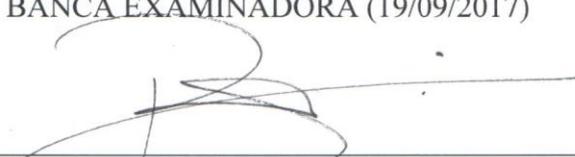
CDD 658.11

FABIANO CUNHA MARINHO

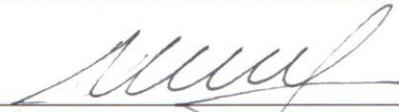
**Compensação de custos e capacidades operacionais: Estudo com
simulação de eventos discretos aplicado a uma indústria do ramo
farmacêutico**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Administração do Instituto de Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Administração.

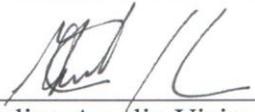
BANCA EXAMINADORA (19/09/2017)



Prof. Ricardo César da Silva Guabiroba, D.Sc. – (Orientador)
Universidade Federal Fluminense



Prof. Ilton Curty Leal Junior, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense



Prof. Marcelino Aurélio Vieira da Silva, D.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro

VOLTA REDONDA, RJ – BRASIL

SETEMBRO DE 2017

Dedico este trabalho a todos aqueles que, de alguma forma, estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por ser essencial em minha vida, que iluminou o meu caminho durante esta longa caminhada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal Fluminense, por ter oferecido todo o apoio necessário para a realização deste trabalho.

Ao professor D.Sc. Ricardo César da Silva Guabiroba, pela paciência na orientação, por acreditar nas minhas intenções, por sempre me apoiar durante o curso e pelo incentivo que tornaram possível a conclusão desta dissertação.

Ao professor D.Sc. Ilton Curty Leal Junior, com quem partilhei o que era o broto daquilo que veio a ser este trabalho. Nossas conversas durante e para além das aulas foram fundamentais. Desejei a sua participação na banca examinadora deste trabalho desde o princípio.

Ao professor D.Sc. Marcelino Aurelio Vieira da Silva, por ter aceitado participar na banca examinadora. É uma grande honra tê-lo como avaliador deste trabalho.

Agradeço também a todos os professores que me acompanharam durante o mestrado, em especial ao Prof. D.Sc. Murilo Alvarenga Oliveira e à Profa. D.Sc. Cecília Toledo Hernández, responsáveis pelos preciosos ensinamentos que contribuíram com a realização deste trabalho.

Agradeço também a minha esposa, Marcia Carolina Ramos Silva Marinho, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades, quero agradecer também a minha filha, Laura Valiante Marinho, que embora não tivesse conhecimento disto, me iluminou de maneira especial os meus pensamentos me levando a buscar mais conhecimentos. E não deixando de agradecer de forma grandiosa, meus pais, Fernando Antônio dos Santos Marinho e Marilde da Cunha Marinho, a quem eu rogo todas as noites a minha existência.

A CAPES pelo apoio dado aos alunos, incentivando a pesquisa e a disseminação do conhecimento.

RESUMO

Esta dissertação descreve o ambiente mercadológico de uma indústria do ramo químico farmacêutico, que se depara com questões sobre a compensação de custos. Tais questões envolvem a escolha de uma configuração do sistema produtivo, nos quais os cenários estudados são os seguintes: (a) necessidade de se manter três unidades produtivas para se beneficiar de um regime tributário especial, concedido por um benefício fiscal; ou (b) abrir mão do benefício fiscal para manter uma configuração do sistema produtivo mais enxuto, proporcionada pela extinção da unidade fabril que fomenta tal benefício. Portanto, este estudo realiza a comparação das duas configurações do sistema produtivo de modo a identificar a configuração do sistema de menor custo, por meio da avaliação dos dois cenários. Para o alcance deste objetivo, realizou-se uma análise de compensação de custo para avaliar se as questões tributárias de uma região podem reduzir o custo total para a empresa mesmo aumentando os custos operacionais. A análise é baseada em uma metodologia que foi estruturada em três fases. Na primeira fase, foi realizada a modelagem conceitual do sistema produtivo. Em seguida, desenvolveu-se o modelo computacional representativo deste sistema, e, por fim, realizou-se o experimento de simulação envolvendo a análise dos cenários propostos. Para a construção do modelo computacional, utilizou-se a simulação de eventos discretos, que é uma técnica de simulação computacional estocástica utilizada para o desenvolvimento de modelos de sistemas, permitindo a realização de experimentos de simulação. Com os dados do experimento, verificou-se que, apesar do cenário (b) possuir uma estrutura mais enxuta, e, portanto, alcançar menor custo de produção, o cenário (a) torna-se mais viável economicamente, pois, por meio do regime tributário especial, obtém uma redução significativa dos impostos sobre as vendas alcançando um custo total menor.

Palavras-Chave: Compensação de Custos, Tomada de Decisão, Modelagem e Simulação, Simulação de Eventos Discretos.

ABSTRACT

This dissertation describes the marketing environment of a pharmaceutical chemistry industry, which is faced with questions about cost-effectiveness. These questions involve the choice of a configuration of the productive system, in which the scenarios studied are: (a) the need to maintain three productive units to benefit from a special tax regime granted by a tax benefit; Or (b) relinquish the tax benefit to maintain a more efficient production system configuration, provided by the extinction of the plant that promotes such benefit. Therefore, this study compares the two configurations of the productive system in order to identify the configuration of the lowest cost system, through the evaluation of the two scenarios. To achieve this objective, a cost-benefit analysis was performed to assess whether the tax issues in a region can reduce the total cost to the company even by increasing operating costs. The analysis is based on a methodology that has been structured in three phases. In the first phase, the conceptual modeling of the production system was carried out, then the computational model representing this system was developed, and, finally, the simulation experiment was carried out involving the analysis of the proposed scenarios. For the construction of the computational model, we used the simulation of discrete events, which is a stochastic computational simulation technique used for the development of systems models, allowing the realization of simulation experiments. With the data of the experiment it was verified that, although scenario (b) has a more efficient structure, and therefore, to reach lower cost of production, scenario (a) becomes more economically viable, since, through the regime Special tax, you get a significant reduction in sales taxes, achieving a lower total cost.

Keywords: Cost Compensation, Decision Making, Modeling and Simulation, Discrete Event Simulation.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1: Priorização dos critérios.....	48
Figura 4.2: Priorização de fatores com base na solução de escolha do <i>software</i>	51
Figura 4.3: Desempenho dos <i>softwares</i> baseado na ponderação dos critérios.	51
Figura 5.1: Método para estudo com SED.	60
Figura 5.2: Artefatos da modelagem conceitual.	63
Figura 6.1: Alíquota do ICMS por Estado da federação.	74
Figura 6.2: Cadeia de Suprimento da Indústria objeto da pesquisa.	75
Figura 6.3: Fluxo no cenário (a) da cadeia do produto de categoria Cefalosporinas.	77
Figura 6.4: Fluxo no cenário (a) da cadeia do produto de categoria Carbapenemas.....	82
Figura 6.5: Fluxo no cenário (a) da cadeia do produto de categoria Anestésico.....	87
Figura 6.6: Fluxo no cenário (b) da cadeia do produto de categoria Cefalosporinas.	92
Figura 6.7: Fluxo no cenário (b) da cadeia do produto de categoria Carbapenemas.	94
Figura 6.8: Fluxo no cenário (b) da cadeia do produto de categoria Anestésico.	96
Figura 6.9: Parametrização da Informação Geral do modelo no ProModel®.....	100
Figura 6.10: Parametrização da parada por <i>setup</i> no local Fra_I.	101
Figura 6.11: Parametrização das entidades no ProModel®.	102
Figura 6.12: <i>Layout</i> do modelo com a disposição da rede de caminho.....	103
Figura 6.13: Especificações parametrizadas para o recurso Caminhão no ProModel®.	104
Figura 6.14: Atributos parametrizados no ProModel®.	107
Figura 6.15: Detalhamento de calendário do arquivo TURNO_EMBALAGEM_3R.	115
Figura 6.16: Detalhamento de calendário do arquivo SABADO_DOMINGO.....	115
Figura 6.17: Detalhamento de calendário do arquivo TURNO_FRAI.....	116
Figura 6.18: Detalhamento de calendário do arquivo TURNO_FRAII.	116
Figura 6.19: Cenários parametrizados para a realização do experimento de simulação.	119
Figura 6.20: Parametrização das opções de simulação.....	120
Figura 6.21: Percentual de utilização dos locais durante o experimento de simulação.....	121
Figura 6.22: Percentual de utilização dos locais das unidades de Três Rios e de Itatiaia.	122
Figura 6.23: Percentual de utilização dos locais da unidade do Rio de Janeiro.	123
Figura 6.24: Quantidade máxima de lotes de produtos que transitaram nos locais da unidade de Três Rios.	123
Figura 6.25: Quantidade máxima de lotes de produtos que transitaram nos locais da unidade de Itatiaia.	124
Figura 6.26: Saldo em estoques no dia 31 de outubro de 2016 por cenário.....	125
Figura 6.27: Custo de operação dos locais durante o período de simulação.	125
Figura 6.28: Quantidade de utilização do recurso Caminhão.....	126
Figura 6.29: Estado dos Recursos durante o período de simulação no Cenário (a).	127
Figura 6.30: Estado dos Recursos durante o período de simulação no Cenário (b).	128
Figura 6.31: Estado os lotes de produtos durante o período de simulação no Cenário (a)....	128
Figura 6.32: Estado dos lotes de produtos durante o período de simulação no Cenário (b). .	129
Figura 6.33: Percentual em operação dos lotes de produtos durante o período de simulação.	130

Figura 6.34: Total dos lotes de produtos saídos do sistema durante o período de simulação.	131
Figura 6.35: Quantidade de lotes de produtos vendidos por alíquota de ICMS.....	132
Figura 6.36: Resultado de venda por cenário.	133

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Pesquisa 2015 de <i>softwares</i> de SED – aplicações/ principais mercados/ informações sobre preços.	34
Tabela 3.2: Pesquisa 2015 de <i>softwares</i> de SED – sistema operacional/ características de construção do modelo.	38
Tabela 4.1: Índice de consistência randômico.	44
Tabela 4.2: Matriz de julgamento dos critérios.	45
Tabela 4.3: Matriz de julgamento dos critérios obtida com o auto vetor normalizado e o λ_{max}	47
Tabela 4.4: Matriz de priorização de critérios com base na solução de escolha do <i>software</i> . .	50
Tabela 6.1: Custos de entrada da entidade Cefalosporinas para cada lote de produto.	79
Tabela 6.2: Tempos em horas de envase por unidade de lote dos produtos de categoria Cefalosporinas no local Fracionamento I.	80
Tabela 6.3: Tempos em horas de embalagem por unidade de lote dos produtos de categoria Cefalosporinas no local Embalagem TR.	81
Tabela 6.4: Preços por unidade de lote dos produtos de categoria Cefalosporinas por atributo aProd.	82
Tabela 6.5: Custos de entrada da entidade Carbapenemas para cada lote de produto.	84
Tabela 6.6: Tempos em horas de envase por unidade de lote dos produtos de categoria Carbapenemas no local Fracionamento II.	84
Tabela 6.7: Tempos em horas de embalagem por unidade de lote dos produtos de categoria Carbapenemas no local Embalagem TR.	85
Tabela 6.8: Preços por unidade de lote dos produtos de categoria Carbapenemas por atributo aProd.	86
Tabela 6.9: Custos de entrada da entidade Anestésico para cada lote de produto.	89
Tabela 6.10: Tempos em horas de envase por unidade de lote dos produtos de categoria Anestésico no local Envase de Anestésico.	89
Tabela 6.11: Tempos em horas de embalagem por unidade de lote dos produtos de categoria Anestésico no local Embalagem TR.	90
Tabela 6.12: Preços por unidade de lote dos produtos de categoria Anestésico por atributo aProd.	91
Tabela 6.13: Distribuições probabilísticas das alíquotas de ICMS para cada mês de operação da entidade Cefalosporinas.	94
Tabela 6.14: Distribuições probabilísticas das alíquotas de ICMS para cada mês de operação da entidade Carbapenemas.	96
Tabela 6.15: Distribuições probabilísticas das alíquotas de ICMS para cada mês de operação da entidade Anestésico.	97
Tabela 6.16: Paradas de <i>setup</i> dos locais.	101
Tabela 6.17: Chegadas das entidades no ProModel®.	104
Tabela 6.18: Distribuições de usuário parametrizadas no modelo.	111
Tabela 6.19: Média ponderada das alíquotas de ICMS praticadas nos cenários (a) e (b).	132

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 4.1: Critérios importantes para a seleção do software de SED.....	42
Quadro 4.2: Escala fundamental para julgamentos comparativos.....	43
Quadro 5.1: Comparativo dos métodos de SED.....	57
Quadro 5.2: Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM.....	64
Quadro 6.1: Atributos aProd definidos para a entidade Cefalosporinas.....	77
Quadro 6.2: Entradas da entidade Cefalosporinas no sistema.....	78
Quadro 6.3: Atributos aProd definidos para a entidade Carbapenemas.....	83
Quadro 6.4: Entradas da entidade Carbapenemas no sistema.....	83
Quadro 6.5: Atributos aProd definidos para a entidade Anestésico.....	87
Quadro 6.6: Entradas da entidade Anestésico no sistema.....	88
Quadro 6.7: Locais criados no ProModel®.....	100
Quadro 6.8: Variáveis globais parametrizadas no modelo.....	108
Quadro 6.9: Macros parametrizadas no modelo.....	109
Quadro 6.10: Designação de turnos no modelo.....	113

LISTA DE ABREVIATURAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CLP – Controlador Lógico Programável

CONFAZ – Conselho Nacional de Política Fiscal

CSCMP – *Council of Supply Chain Management Professionals* (Conselho de Profissionais de Gestão da Cadeia de Suprimento)

CTP – Custo Total de Propriedade

E&D – Ensino e Desenvolvimento

ERP – *Enterprise Resource Planning* (Planejamento de Recursos Empresariais)

FECF – Fundo Estadual de Combate a Pobreza

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IID – Independentes e Identicamente Distribuídos

M&S – Modelagem e Simulação

MMA – Material de Manipulação Automatizado

OO – Orientado a Objeto

ORMS – *Institute for Operations Research and the Management Sciences* (Instituto de Pesquisa Operacional e Ciências de Gestão)

OSE – Otimização de Sistemas de Energia

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PMP – Plano Mestre de Produção

PPA – Planejamento de Produção Agregada

RD – Realidade Virtual

SAD – Sistema de Apoio a Decisão

SED – Simulação de Eventos Discretos

SFF – Sistemas de Fabricação Flexível

SMS – Sistemas de Manufatura de Semicondutores

STA – Sistemas de Transporte Automatizados

UTI – Unidade de Terapia Intensiva

VGA – Veículos Guiados Automatizados

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos do Trabalho	15
1.2 Relevância do trabalho.....	16
1.3 Estrutura do trabalho.....	16
2. COMPENSAÇÃO DE CUSTOS LOGÍSTICOS EM SISTEMAS PRODUTIVOS	17
2.1 Compensação de custos logísticos	18
2.2 Análise de compensação de custos	19
2.3 Os custos logísticos e sua relação com os sistemas produtivos	19
2.4 A gestão dos custos na cadeia de suprimentos.....	21
2.5 Os componentes típicos da logística e a tipologia dos custos pelas atividades	22
2.5.1 Custos de transporte	22
2.5.2 Custos relacionados com a armazenagem	23
2.5.3 Custos administrativos.....	24
2.5.4 O imposto sobre circulação de mercadorias e serviços	25
2.6 Considerações finais	26
3. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS PRODUTIVOS.....	28
3.1 A ciência da modelagem em um processo de simulação	28
3.2 A simulação de eventos discretos (SED).....	31
3.3 <i>Softwares</i> comerciais de simulação de eventos discretos disponíveis	32
3.4 Considerações finais	40
4. ESCOLHA DO SOFTWARE DE SED APLICANDO O MÉTODO AHP	41
4.1 A seleção do <i>software</i> de simulação utilizando o método AHP	41
4.2 Os critérios para seleção de <i>software</i> de SED utilizando o método AHP	42
4.3 Os <i>softwares</i> de SED avaliados	42
4.4 Visão geral e aplicação da AHP.....	43
4.5 Ferramenta <i>SuperDecisions</i> para a realização do método AHP	45
4.6 A aplicação da técnica AHP	45
4.7 O <i>software</i> de simulação ProModel®.....	51
4.8 Considerações finais	53
5. ETAPAS DE UM ESTUDO DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS	55
5.1 Condições de contorno acerca do método da pesquisa.....	55
5.2 Métodos de SED	55
5.3 Entendimento conceitual sobre as etapas e a sequência de execução.....	59
5.3.1 Etapa 1.1 – Identificação/ Formulação do problema.....	61
5.3.2 Etapa 1.2 – Planejamento do estudo.....	61
5.3.3 Etapa 1.3 – Entendimento do sistema.....	61
5.3.4 Etapa 1.4 – Formulação/ Desenvolvimento do modelo conceitual	62

5.3.5	Etapa 1.5 – Validação do modelo conceitual	65
5.3.6	Etapa 1.6 – Documentação do modelo conceitual.....	66
5.3.7	Etapa 2.1 – Escolher a ferramenta de simulação	66
5.3.8	Etapa 2.2 – Desenvolvimento do modelo computacional	67
5.3.9	Etapa 2.3 – Verificação do modelo computacional.....	67
5.3.10	Etapa 2.4 – Validação do modelo computacional	67
5.3.11	Etapa 2.5 – Documentação do modelo computacional.....	68
5.3.12	Etapa 3.1 – Planejamento do experimento/ Desenvolvimento do desenho.....	68
5.3.13	Etapa 3.2 – Execução da simulação/ Experimento.....	68
5.3.14	Etapa 3.3 – Análise dos resultados/ Estatística.....	68
5.3.15	Etapa 3.4 – Documentação do relatório do experimento/Conclusões.....	69
5.3.16	Etapa 3.5 – Implementação	69
5.4	Considerações finais	70
6.	APLICAÇÃO.....	71
6.1	Fase de concepção	71
6.1.1	Identificação/Formulação do problema	71
6.1.2	Planejamento do estudo	72
6.1.3	Entendimento do sistema.....	72
6.1.4	Formulação/ Desenvolvimento do modelo conceitual	76
6.1.5	Validação do modelo conceitual	98
6.1.6	Documentação do modelo conceitual.....	98
6.2	Fase de desenvolvimento	98
6.2.1	Escolher a ferramenta de simulação	99
6.2.2	Desenvolvimento do modelo computacional	99
6.2.3	Verificação do modelo computacional.....	117
6.2.4	Validação do modelo computacional	117
6.2.5	Documentação do modelo computacional.....	117
6.3	Fase de análise	117
6.3.1	Planejamento do experimento/ Desenvolvimento do desenho.....	118
6.3.2	Execução da simulação/ Experimento.....	119
6.3.3	Análise dos resultados/ Estatística.....	120
6.3.4	Documentação do relatório do experimento/Conclusões.....	134
6.3.5	Implementação.....	134
6.4	Considerações Finais	134
7.	CONCLUSÃO.....	136
8.	REFERÊNCIAS	139
	APÊNDICE	161
	ANEXO.....	162

1. INTRODUÇÃO

Gaither e Frazier (2006) afirmam que uma melhor administração das operações de uma empresa possibilita a agregação de valor em decorrência da melhoria da competitividade, elevando a lucratividade no longo prazo. Objetivando a melhoria dos processos na cadeia produtiva, as organizações buscam administrar estes processos de maneira mais eficiente, além de colocar no mercado produtos e serviços que verdadeiramente atendam as necessidades dos consumidores (Corrêa e Corrêa, 2013).

Neste sentido, o objeto do presente estudo é uma empresa do ramo farmacêutico de produção, a qual possui três unidades fabris instaladas no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Essas três unidades caracterizam-se por serem integradas. Assim, cumprem etapas incrementais no processo de fabricação dos seus produtos, que são medicamentos destinados exclusivamente ao consumo hospitalar. Assim, cada unidade fabril é responsável por cumprir etapas distintas agregando valor ao produto. O produto tem sua produção finalizada apenas em uma das unidades, a qual expede o produto-acabado aos clientes, que são distribuidores de medicamentos e hospitais.

Outra característica quanto ao processo de produção desta empresa diz respeito a sua estratégia de fabricação, com sistema de produção puxada. O objetivo é atender as demandas previstas do mercado consumidor. A administração da produção elabora um plano mestre de produção (PMP) definindo quais os produtos serão fabricados, em que quantidade e quando serão produzidos, considerando as suas capacidades e restrições produtivas. Portanto, faz-se necessário analisar cenários dos quais possibilite aos gestores tomarem as melhores decisões com relação às características operacionais da empresa.

Buscando obter instrumental que auxilie na análise de cenários e, portanto, a tomada de decisões, busca-se cada vez mais a aplicação de procedimentos de modelagem e análise de cenários por meio da simulação computacional (Mello *et al.*, 2014). Harrell *et al.* (2000) destacam a simulação computacional como uma ferramenta, auxiliando a tomada de decisão e permitindo o desenvolvimento de sistemas mais eficientes, pois atua como uma técnica preditiva e preventiva auxiliando a responder questões do tipo “o que aconteceria se...?”.

Essas ferramentas permitem obter uma maior compreensão do sistema produtivo por meio da identificação das variáveis mais importantes e da maneira como elas interagem. Estas podem ser usadas para experimentar novas situações sobre as quais se tem pouca ou mesmo nenhuma informação, com o intuito de preparar a administração para o que possa acontecer e servindo como um primeiro teste para delinear novas políticas e regras de decisão para a operação de um sistema, antes de experimentá-la no sistema real.

1.1 Objetivos do Trabalho

Esta dissertação tem o seguinte problema de pesquisa: “As questões tributárias de uma região podem reduzir o custo total para a empresa mesmo aumentando os custos operacionais?”.

No contexto desse problema de pesquisa, este estudo tem por objetivo geral apontar a configuração de menor custo total da cadeia produtiva de uma empresa do ramo químico farmacêutico de produção que possui instalações industriais nos municípios do Rio de Janeiro, Itatiaia e Três Rios, todas localizadas no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. As configurações em análise são: (a) fabricação dos produtos semiacabados nas unidades do Rio de Janeiro e Itatiaia e posterior envio para a unidade de Três Rios para fabricação do produto-acabado e expedição para o mercado consumidor; (b) fabricação dos produtos semiacabados nas unidades do Rio de Janeiro e Itatiaia, contudo sendo realizada, na unidade de Itatiaia, a fabricação e a expedição dos produtos acabados oriundos tanto dos produtos semiacabados fabricados nesta unidade, quanto dos produtos semiacabados fabricados na unidade do Rio de Janeiro, extinguindo com a unidade de Três Rios.

Para se alcançar o objetivo geral, neste momento denominado “primário”, há a necessidade de se alcançar uma série de objetivos específicos, considerados “secundários” que são:

- Desenvolvimento do modelo representativo do sistema de operações;
- Desenho de cenários possíveis referentes ao caso em estudo;
- Programação do modelo em ferramenta de simulação;
- Obtenção dos dados de cada cenário após análise de sensibilidade;

1.2 Relevância do trabalho

Este trabalho se mostra relevante uma vez que a indústria de transformação é um dos mais complexos empreendimentos realizados pelo homem e, portanto, merece a atenção por várias razões, das quais três são apresentadas aqui: (1) os sistemas produtivos foram e ainda são, e no futuro previsível continuarão a ser, direta e indiretamente, a base para o crescimento econômico das nações; (2) a indústria de transformação está constantemente exposta a mudanças e incertezas que ameaça a prosperidade e a qualidade de vida das pessoas em todos os países; e (3) o estudo envolvendo a tomada de decisão em cadeias de suprimentos, apenas por si só, já é deveras importante, e torna-se ainda mais importante quando envolve questões tributárias, no qual no Brasil, por possuir legislações com particularidades únicas, possui forte influência no desempenho econômico das empresas e nas decisões dos gestores.

Portanto, a abordagem pela busca de soluções e a criação de alternativas por meio de um instrumental acadêmico para o segmento industrial não apenas justifica, mas motiva a realização deste trabalho de pesquisa, pois eleva o conhecimento acerca das atividades empresariais e também enriquece o meio acadêmico com mais uma aplicação técnica de um método científico servindo de instrumental para novas pesquisas correlacionadas.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho de pesquisa está dividido em sete Capítulos. O presente e primeiro (1) foi destinado à Introdução, fornecendo a contextualização acerca do objeto da pesquisa, a problematização, o objetivo da dissertação e a relevância. No Capítulo seguinte (2), foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de compensação de custos logísticos

em sistemas produtivos, abordando a relevância de sua análise no contexto da cadeia de suprimentos, focando nos conceitos de custos logísticos, considerados necessários para o desenvolvimento do trabalho.

Na sequência (3), a revisão bibliográfica foi direcionada para os conceitos gerais de modelagem e de simulação de sistemas produtivos e modelos aplicados na tomada de decisão com os fins de aplicação da simulação computacional para a solução de problemas em sistemas produtivos. Este Capítulo serviu de alicerce para o entendimento acerca da metodologia que foi utilizada neste estudo e também serviu de base para a escolha do *software* de simulação.

No Capítulo seguinte (4), é realizada a seleção do *software* de simulação de eventos discretos (SED) que foi utilizado no desenvolvimento deste estudo, no qual, para isto, foi aplicada uma abordagem hierárquica analítica de múltiplos critérios. Este estudo permitiu escolher a ferramenta mais adequada ao desenvolvimento desta pesquisa.

No desenvolvimento do Capítulo seguinte (5), é realizado um estudo bibliográfico sobre as metodologias existentes aplicadas a pesquisas envolvendo a simulação de eventos discretos (SED) com o objetivo de elaborar o procedimento metodológico que fora aplicado e evidenciado no Capítulo 6.

Na sequência (6), é apresentado um Capítulo no qual é realizada uma aplicação da modelagem e simulação computacional dos processos produtivos de uma indústria do ramo farmacêutico. O produto deste experimento são informações que permitiram analisar as opções de configuração do sistema produtivo, para, portanto obter a conclusão acerca do objetivo deste trabalho e, no último Capítulo (7), é apresentado as conclusões e as recomendações para futuros estudos.

2. COMPENSAÇÃO DE CUSTOS LOGÍSTICOS EM SISTEMAS PRODUTIVOS

Neste Capítulo, a ênfase será sobre a integração dos vários componentes de custos logísticos em uma estrutura de trabalho que possibilita ao sistema global sustentar o equilíbrio alcançando o custo total mais baixo. O conceito de compensação de custos logísticos será descrito. Será discutida ainda a importância de reconhecer as oportunidades de ganhos econômicos de sistemas produtivos, como o sistema objeto desta pesquisa. Alguns aspectos fundamentais do planejamento logístico foram revisados e o impacto financeiro que a logística tem em um negócio é descrito.

Portanto, este Capítulo possui a finalidade de abordar uma revisão bibliográfica acerca dos conceitos de custos logísticos. Descreve as várias formas em que a gestão logística impacta sobre os elementos do custo total na cadeia de suprimentos, explicando o raciocínio por trás da análise de custo total, dos sistemas de contabilidade analítica e gerencial orientada para a logística e os principais requisitos para uma logística eficaz baseados nos sistemas de custeio. E, por fim, destacam-se os principais elementos de custos intrínsecos nas atividades logísticas, que são: transporte, armazenagem, compras, administração das atividades logísticas e o encargo do imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS).

2.1 Compensação de custos logísticos

Trade-off é o termo dado ao efeito da compensação ocorrida quando se obtêm uma perda, mas que esta perda venha a proporcionar um ganho em outro aspecto (Faria e Costa, 2007). O conceito sobre *trade-off* visa tratar os muitos elementos diferentes que vêm sob a categoria ampla da logística como um único sistema integrado. É um reconhecimento de que as inter-relações entre os diferentes elementos, por exemplo, o transporte e o armazenamento de mercadorias, devem ser considerados, de forma mais ampla, dentro do âmbito da cadeia de suprimentos (Lambert e Armitage, 1979). Assim, o sistema total deve ser considerado, e não apenas um elemento individual ou um subsistema isoladamente.

Um *trade-off* pode implicar um custo adicional em uma função, mas irá proporcionar uma maior redução de custos no outro. A realização global será um ganho líquido para o sistema (Baumol e Vinod, 1970).

Este tipo de análise de *trade-off* é uma parte importante do planejamento para a logística. Rushton *et al.* (2014) apresentam quatro diferentes níveis de *trade-off*, que são:

- i. Nos componentes de distribuição: os *trade-offs* que ocorrem dentro de funções individuais. Um exemplo seria a decisão de utilizar locais aleatórios de armazenamento em comparação com locais fixos em um depósito. A primeira opção pode proporcionar uma melhor utilização do armazenamento, contudo é mais difícil para a expedição; o segundo é mais fácil para a expedição, mas pode não fornecer boa utilização da armazenagem.
- ii. Entre os componentes de distribuição: para inverter o exemplo anterior, uma empresa pode ser forçada a elevar o custo de embalagem, contudo pode encontrar uma maior economia por meio de melhorias na armazenagem e no transporte do produto, gerando economicidade no arranjo de empilhamento nas operações de movimentação dos materiais, em vez da imposição de um novo requisito para as atividades logísticas.
- iii. Entre as funções da empresa: há uma série de áreas de interface entre as funções da empresa, onde as compensações podem ser realizadas. Um exemplo é o *trade-off* entre a otimização da produção e as despesas de armazenagem associadas ao armazenamento do produto-acabado. Longos ciclos de produção geram custos unitários mais baixos e, portanto, produtos com menor custo. Contudo, isto significa que mais produtos precisam ser armazenados por um período mais longo, o que eleva os custos de armazenagem.
- iv. Entre a empresa e as organizações externas: onde um *trade-off* pode ser benéfico para duas empresas que estão associadas. Por exemplo, uma mudança do sistema de distribuição em que os produtos de um fabricante, ao invés de serem entregues diretamente às lojas varejistas, passam a ser entregues a um centro de distribuição do varejista e, a partir deste, são distribuídos às lojas, podendo gerar economias para as duas empresas.

2.2 Análise de compensação de custos

O conceito acerca da análise de compensação de custos é uma característica fundamental na abordagem de custos para o planejamento logístico. A Seção 2.1 demonstrou que qualquer alteração em um dos elementos dentro de um sistema de logística é susceptível de acarretar em um efeito significativo sobre os custos do sistema total (Lambert e Armitage, 1979). Miller (1991) afirma que a compensação dos custos e serviços dentro de qualquer estrutura de logística pode variar de uma empresa para outra, dependendo do papel que a empresa desempenha dentro da cadeia de suprimentos como um todo. No entanto, Rushton *et al.* (2014) argumenta a importância de avaliar os seguintes custos e seus *trade-offs* associados:

- Custos de produção. Estes irão variar de acordo com o tipo de processo de produção ou do sistema utilizado e do tipo de produto produzido. As fábricas podem ser especializadas em um ou dois tipos específicos de produtos ou podem fazer uma grande variedade de produtos diferentes. Diferentes estruturas de distribuição podem ser necessárias para suportar diferentes tipos de produto. O efeito sobre os custos de transporte será muito relevante;
- Os custos de embalagem. Este elemento possui um impacto nas análises de compensação de custos, principalmente quando se avalia a relação entre o tipo de embalagem e os custos de manuseio e de transporte. O tipo de unitização de carga também será importante;
- Os custos de sistemas de informação. Estes abrangem uma ampla área de recepção para sistemas de informação de gestão. O tipo de rede logística afetará estes custos;
- Perda relativa à diminuição dos custos de vendas. Estas podem ocorrer devido ao serviço inadequado ao cliente, e são muito relevantes no contexto da proximidade entre os centros de distribuição e o mercado consumidor, em conjunto com a confiabilidade e a velocidade do serviço;
- Custos de inventário. Estes incluem o custo do capital empatado nos estoques, bem como o custo de obsolescência. Eles possuem uma relação fundamental com uma rede de distribuição em termos do número de pontos de venda, da estratégia de manutenção de estoques e da hierarquia da estrutura escalonada de distribuição, desde o produtor até o mercado consumidor;
- Custos de transporte. O número e a localização dos locais dentro da estrutura de distribuição e os débitos associados afetam significativamente os custos de transporte. Ambos o transporte primário e os custos de entrega finais são afetados pelas quantidades de depósitos e a sua localização;
- Os custos de armazenamento. Estes custos são variáveis de acordo com o tipo de sistema de armazenamento e de manuseio usado, em conjunto com o volume e a taxa de transferência no local. O tamanho e o tipo de estrutura de armazenagem serão importantes, assim como a localização.

2.3 Os custos logísticos e sua relação com os sistemas produtivos

Simons (2013) esclarece a relação entre os custos industriais e a gestão dos sistemas produtivos em um contexto organizacional mais amplo. Essa relação vai além das tecnologias

da informação baseadas nos sistemas de *Enterprise Resource Planning* (ERP) e nas informações contábeis, provavelmente aplicadas em muitas empresas.

Os sistemas gerenciais de controle podem ser considerados na inclusão dos chamados controles interativos, tais como reuniões regulares, discussões sobre desenvolvimento pessoal, estratégia, missão, entre outros (Simons, 2013). Além disto, a gestão dos custos logísticos pode ter lugar quer formalmente, e, portanto, ser parte de sistemas de informações contábeis, ou informalmente, por exemplo, sob a forma dos próprios cálculos nas planilhas eletrônicas dos gestores sendo então instrumentalizados como elementos de auxílio à tomada de decisão (Preston, 1986; McKinnon e Bruns, 1992; Bruns e McKinnon, 1993).

Weber (2012) listou várias atividades logísticas a serem controladas. As atividades incluíam tarefas “intuitivamente” relacionadas à gestão de custos, tais como o cálculo dos custos logísticos, gerando um sistema de custeio das atividades logísticas. No entanto, isto incluía também tarefas que poderiam ser consideradas como atribuições da gestão de logística, tal como, por exemplo, a geração das estratégias de logística, a organização das atividades de logística ou o *benchmarking* de logística no qual os entrevistados de uma pesquisa realizada por Weber e Blum (Weber, 2012) indicaram a quais departamentos tais tarefas pertenciam. As cinco tarefas mais comumente denominadas como tarefas controladas pela logística foram:

- i. O controle dos custos logísticos, com base no valor realizado das atividades logísticas *versus* os valores orçados pela gestão logística;
- ii. A compilação dos custos logísticos;
- iii. O planejamento das atividades de logística, dos custos das atividades de logística e a elaboração dos orçamentos de logística;
- iv. A gestão de métricas de desempenho das atividades logísticas;
- v. Relatórios financeiros das atividades logísticas.

Estritamente falando, a apuração dos custos de logística (Schary, 1985; Fernie *et al.*, 2001) ou a contabilidade de custos de logística (Gudehus e Kotzab, 2009) é um conceito mais restrito do que a própria gestão de custos logísticos ou o controle dos custos logísticos. Esse controle é um elemento integrado da gestão e inclui não somente o cálculo, a realização do orçamento e o registro dos custos, mas também o acompanhamento do desempenho e a qualidade dos recursos dispensados na execução das atividades (Gudehus e Kotzab, 2009).

Chow *et al.* (1994) afirmam que o uso do cálculo e do registro dos custos apurados como um instrumento para o acompanhamento do desempenho global das atividades de logística representa mais um elemento para a avaliação da eficiência e do desempenho destas atividades, dos quais os custos apurados têm o papel de indicador. O custeio logístico tem sido definido como:

- A identificação dos diferentes custos que resultam da manutenção do cliente incluindo em particular a transformação dos produtos (Fernie *et al.*, 2001);
- Registrar, calcular e relatar todos os custos das atividades de logística, que são consumidos pelo negócio desde as docas de expedição dos fornecedores até o recebimento das mercadorias pelos clientes (Gudehus e Kotzab, 2009).

- Pohlen *et al.* (2009) também utilizam o termo de custeio na cadeia de suprimentos e o definem como a captação dos dados, a atribuição das despesas e a análise das informações de custo em todas as atividades de trabalho com a finalidade de identificação de oportunidades para a obtenção de uma vantagem competitiva por meio de uma combinação de redução dos custos com a melhoria do desempenho.

Neste trabalho de pesquisa, será evidenciada a importância dada à gestão dos custos de logística e de suas formas de custeio, já que a gestão de custos é a informação que conduz ao propósito da pesquisa. Em alguns casos, nesta dissertação, o uso do termo “custando” pode ser entendido como o sinônimo de “gestão de custos” ou como sua abreviação.

2.4 A gestão dos custos na cadeia de suprimentos

Os custos de logística são entendidos como gastos atribuídos à realização das atividades de logística e do uso da infraestrutura necessária para realizar tais atividades durante um determinado período de tempo. Ao contrário dos relatórios externos para fins financeiros, como por exemplo, as demonstrações financeiras para os acionistas, não existem um conjunto de regras que regulam precisamente como os gastos logísticos devem ser demonstrados como custos (Weber, 2012). Segundo Weber (2012) e Van Amstel (1985), isto depende muito de quais atividades a empresa define como sendo de cadeia de suprimento, por exemplo, quais atividades estão incluídas na função de distribuição física das mercadorias.

Gudehus e Kotzab (2009) fornecem uma definição abrangente dos custos de logística como sendo o total dos custos operacionais de uma unidade de desempenho logístico, um centro de lucro, uma rede logística de uma empresa ou de um prestador de serviços de logística. Essa definição descreve adequadamente a ampla gama de possibilidades para a organização do custeio de logística. Se, por um lado, uma unidade de desempenho logístico é provavelmente a menor unidade de uma empresa onde os custos são medidos e registrados, por outro lado, a rede de logística de uma empresa é susceptível de se estender para além das fronteiras legais da empresa e pode incluir dezenas de organizações independentes.

Faria e Costa (2007) salientam que, os custos de logística são definidos de diferentes formas por empresas diversas. Algumas empresas não contabilizam os juros e a depreciação dos estoques como custos logísticos. Por outro lado, algumas empresas incluem, aos seus custos logísticos, os custos de distribuição de seus fornecedores ou os custos de compra. Faria e Costa (2007) destacam que, em algumas empresas, mesmo o valor de compra dos bens adquiridos é incluída nos custos de logística. Portanto, não existe uma definição genérica deste termo, mas todas as empresas precisam definir os custos de logística para si e os mecanismos de controle, proporcionando uma rastreabilidade e a diminuição dos custos.

Há também uma definição mais prática dos custos empresariais de logística que é sugerida por Gudehus e Kotzab (2009) para pesquisas de mercado e comparações entre empresas no qual afirmam que os custos logísticos totais da empresa devem incluir todos os custos de logística entre as docas de recebimento da empresa até as docas de recepção dos seus clientes.

E, além destes, também se inclui os gastos com os serviços de logística externos como sendo custo logístico da empresa.

Rushton *et al.* (2014) define os custos logísticos totais como toda a gama de custos associados à logística, e que inclui os custos de transporte e de armazenagem, além dos custos de administração dos processos logísticos e o processamento de pedidos. Os custos de processamento de pedidos e de administração dos processos logísticos são relativos ao volume total a ser tratado. No entanto, para este volume, os custos de transporte e de armazenagem variam de acordo com as estratégias de distribuição adotadas pela organização.

2.5 Os componentes típicos da logística e a tipologia dos custos pelas atividades

Uma perspectiva típica na literatura acerca da gestão da cadeia de suprimentos está na classificação dos custos de logística por atividades ou funções da cadeia de suprimentos, por exemplo, a aquisição ou a armazenagem. Do ponto de vista contábil, esta forma é menos comum, pois nos livros de gestão contábil utiliza-se mais frequentemente a classificação por tipos de custos. Vários componentes de custos de logística têm sido sugeridos na cadeia de suprimentos, variando entre uma publicação e outra. Rantasila (2013) identificou mais de vinte diferentes elementos de custos de logística em publicações, mas um exame mais atento revela que alguns deles são sobreposições acerca de um mesmo tipo. Contudo, Rantasila (2013) salienta que são encontradas em todas as publicações as avaliações dos custos de transporte, dos custos relacionados com o estoque/ armazenagem e dos custos relativos à aquisição de materiais.

2.5.1 Custos de transporte

O custo mais comum entre os custos de logística é o custo do transporte, juntamente com os custos de manipulação do estoque e o processamento de pedidos. Estes já eram mencionados em 1930 como parte dos custos de operação (Ostlund, 1930). Dentro de um levantamento realizado nos anos de 1970 por Lambert e Armitage (1979), 87% dos 300 entrevistados, todos empresários norte-americanos, relataram ter as informações acerca do custo de transporte prontamente disponível e, em meados da década de 1980, estimou-se que as atividades de transporte em junção com a estocagem representavam cerca de 80% do custo total de distribuição em muitas empresas (Tyndall e Bushner, 1985).

Mais especificamente, na literatura revisada por Lancioni (1991), os custos de transporte são aqueles atribuídos as operações de transporte de entrada e de saída. Para Rushton *et al.* (2014), o custeio de transportes envolve elementos de custos fixos e variáveis, nos quais, podem-se citar os gastos de mão de obra como custo fixo e o consumo energético como custo variável. Contudo, os elementos de custo precisam, por sua concepção, estar proporcionalizado ao seu desempenho e, portanto, possuir maior natureza de variabilidade aos custos. Outro ponto destacado por Rushton *et al.* (2014) é sobre a natureza primarizada ou terceirizada das operações de transporte. Segundo os autores, para o beneficiário do serviço, tanto a realização do transporte utilizando frota própria, quanto à realização do transporte

utilizando frota terceirizada, a abordagem dos gastos estará classificada como item de custo de transporte.

2.5.2 Custos relacionados com a armazenagem

Embora os custos relacionados com a armazenagem sejam um dos componentes mais conhecidos entre os custos de logística, juntamente com os custos de transporte, as classificações dos custos relacionados com a armazenagem são ligeiramente diferentes. Normalmente, as definições incluem os custos relativos às atividades de armazenagem, tais como: o recebimento; o manuseio dos materiais; a separação de pedidos; a execução da embalagem; o transporte; e a contagem de inventário das mercadorias.

Como regra geral, Lambert (1994) instrui que os custos de manutenção dos níveis de estoques devem incluir apenas os custos que mudam de acordo com as alterações do nível de estoques, portanto são variáveis em proporção ao volume dos estoques no armazém. Já os custos relacionados com a armazenagem comportam os gastos que variam com o número de instalações de armazenagem sendo aqueles incorridos com a execução ou administração do armazém, independentemente do nível de estoque, e aqueles que ocorrem a partir da taxa de transferência ou de movimentação das mercadorias dentro e fora do armazém.

O *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP) (Vitasek, 2010) atribui como custo contábil de armazenagem os seguintes elementos: (a) o custo de oportunidade dos recursos financeiros aplicados aos estoques, ou seja, o custo de capital; (b) obsolescência de matéria-prima dos materiais em processo e dos estoques de produtos acabados; (c) a obsolescência relativa ao canal, ou seja, o material que se torna obsoleto no canal de distribuição e que retorna para a empresa focal por meio de acordos de devolução; e (d) gastos com serviços atribuídos a obsolescência.

De acordo com outra classificação feita por Timme (2003), o custo total da atividade de armazenagem consiste em: (a) o custo do capital empatado nas atividades de manuseio dos estoques, que inclui os gastos com o armazenamento, a obsolescência, furtos, danos, gastos com seguros, impostos, gastos com a administração entre outros gastos; e (b) o custo do capital aplicado ao estoque, ou seja, o capital empatado em estoques, que é a soma do valor do inventário com o custo do capital.

Lambert (1994) classifica os custos de armazenagem como: (a) os custos atribuídos ao serviço de armazenagem, que envolve os impostos e o seguro pago em resultado da realização de armazenagem; (b) custos de armazenamento relativo ao consumo de espaço de armazém próprio ou arrendados pela empresa; (c) os custos de risco de armazenagem, incluindo a obsolescência, danos, furtos e deslocamento, ou seja, o transporte de um entreposto para outro para evitar a obsolescência; e (d) os custos de capital. Todos esses custos devem correlacionar-se com a quantidade de unidades em estoques.

Note-se que a definição de custos de armazenagem por Lambert (1994) é mais estreito do que o conceito apresentado por Timme (2003), no qual outros componentes de custo estão incluídos. Contudo, o armazenamento é tratado como uma categoria de custo separado por

causa da sua variabilidade de acordo com o movimento das mercadorias, e não apenas ao fato de tê-los. Além disto, o valor do estoque é uma categoria separada.

Para simplificar e facilitar a comparação ao longo do tempo e em empresas, o custo da relação de estoque e transporte pode ser expresso como uma porcentagem estimada do valor do estoque. A porcentagem varia de acordo com a indústria, com o risco de obsolescência sendo o fator chave para o custo do estoque. A taxa média utilizada em empresas norte-americanas por volta do ano de 2003 foi de 10 por cento (Timme, 2003). Um fator que influencia o custo de capital empatado no estoque poderia ser a disponibilidade de financiamento para a empresa.

O custo de capital empatado no estoque é realmente um produto resultante da compensação de custos, um custo do benefício, que está dispensado ao resultado, por se fazer uma escolha de ação em vez de outra (Zimmermann e Yahya-Zadeh, 1995). Há poucos textos de gestão da cadeia de suprimentos que fornece as diretrizes para a atribuição do custo de capital empatado no estoque. Timme (2003) salienta que, provavelmente, as atividades relativas à avaliação do custo de capital empatado nos estoques é uma atribuição pertencente à contabilidade gerencial, sendo de sua responsabilidade. Contudo, muitos dos sistemas de informação de empresas existentes não conseguem capturar estes custos (Timme, 2003).

O *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP) sugere que o custo do capital deve ter como base o custo de capital padrão da própria empresa (Vitasek, 2010). Timme (2003) recomenda o uso do custo médio ponderado de capital (CMPC) que tem como objetivo avaliar o custo de capital ou a taxa de atratividade implícita de uma organização empresarial ou entidade com fins lucrativos e que tem a função de servir como balizador para a remuneração requerida pelos investidores ou credores do negócio sobre o capital investido ou aplicado, uma vez que representa a relação entre o custo de oportunidade do investimento e o risco médio de uma empresa.

2.5.3 Custos administrativos

Na literatura, o custo administrativo como elemento de custos logísticos é uma categoria que raramente é descrito em detalhe. Discutindo os custos de distribuição, Lancioni (1991) divide-os em duas áreas: os custos operacionais e os custos administrativos de apoio. Os custos operacionais são definidos como aqueles em que ocorre por meio da alocação dos gastos nos centros de custo que lidam com as áreas funcionais da logística, ao passo que os custos administrativos são os gastos alocados nos centros de custo, associados com o apoio à linha ou as funções operacionais.

Exemplos dados de funções administrativas incluem o atendimento ao cliente, a previsão de demanda, a programação de produção e de transporte e o planejamento de inventário. O processamento de pedidos e compras, no entanto, são classificados como custos operativos, juntamente com o transporte e os custos relacionados com os estoques (Lancioni, 1991). De acordo com esta classificação, então, o planejamento, a programação e a análise, bem como a resolução de problemas são funções administrativas e o fluxo de material relacionado com as

atividades diárias são funções operacionais. Do mesmo modo, os custos relacionados podem ser considerados administrativos ou operacionais.

2.5.4 O imposto sobre circulação de mercadorias e serviços

Segundo Souza e Teixeira (2016), o imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS) é um dos impostos mais comuns no Brasil e se aplica à comercialização de bens e de serviços. O ICMS é a acrônimo de imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias e serviços de transporte interestadual e intermunicipal e também de comunicações. Trata-se de um imposto sobre o valor agregado (IVA) incidindo sobre as vendas e os serviços e aplica-se à circulação de mercadorias, transporte, serviços de comunicação e outros suprimentos gerais de bens.

No geral, o ICMS é pago por pessoas físicas e jurídicas que comercializem qualquer mercadoria e por aqueles que importam produtos, que adquirem mercadorias apreendidas pela alfândega e aqueles que adquirem produtos petrolíferos a partir do estrangeiro (De Castro e Moraes, 2015). Como com qualquer IVA, a intenção legislativa é a de que o indivíduo que vem a consumir o produto ou o serviço é quem irá pagar pelo imposto incidido. Portanto, em outras circunstâncias, quando o bem é um insumo e faz parte de outro produto em uma cadeia, o ICMS não deverá incidir sobre o custo deste produto, pois ele será incidido sobre o valor do produto-acabado.

Varsano (2014) destaca a aplicação do ICMS nas operações relacionadas com a circulação de mercadorias, incluindo alguns casos como: comercialização de alimentos e de bebidas em bares, restaurantes e estabelecimentos similares; comercialização de medicamentos, tanto no varejo quanto no atacado; prestação de serviço de transporte de produtos ou serviços primários, industrializados ou semimanufaturados entre Estados ou municípios; prestação de serviços de comunicação, incluindo a emissão, recepção, transmissão, retransmissão, repetição e expansão de qualquer tipo de comunicação.

Segundo Varsano (2014), o ICMS também incide sobre a entrada de mercadorias importadas por particulares ou figura jurídica, tanto quando as mercadorias são destinadas ao consumo quanto quando é um ativo permanente do estabelecimento. Também é aplicada a tributação sobre a prestação de serviços no estrangeiro e na entrada em território nacional de produtos petrolíferos, incluindo lubrificantes, gás e combustíveis líquidos originados fora do Brasil, e também por todo fornecimento de bens por meio de prestação de serviços não previstos pela carga tributária municipal.

A base para o cálculo do ICMS dependerá da operação realizada. De um modo geral, é calculado sobre o valor da operação. Como é um imposto baseado no Estado, as regras, taxas, cobrança e execução diferem entre cada Estado. A taxa padrão para o Estado de São Paulo é de 18%, por exemplo, enquanto no Estado do Rio de Janeiro é de 19%. No entanto, não é possível generalizar. No Estado do Rio de Janeiro, a alíquota de ICMS de perfume é de 37%, 35% para o álcool e 30% para a gasolina. No outro extremo do espectro, os equipamentos

para pessoas com deficiência são tributados em 7% e o transporte público é tributado em 6%. Portanto, não há uma resposta simples para a pergunta “quanto é o ICMS?”.

Piancastelli e Perobelli (1996) salientam que, cada Estado brasileiro possui o direito de regulamentar seu próprio ICMS. No entanto, mesmo ditando as suas próprias regras, os Estados precisam respeitar a Legislação Federal. Por exemplo, no Estado de São Paulo, há uma taxa de imposto de 25% sobre motocicletas (250cc e acima). Igualmente há também uma taxa de 25% de imposto sobre fogos de artifício e outros produtos similares. Há ainda um imposto de 12% sobre pregos e blocos de concreto, um imposto de 7% sobre preservativos e um imposto de 4% ao fornecer transporte aéreo interestadual de passageiros.

Piancastelli e Perobelli (1996) destacam que, o fato dos governos Estaduais serem livres para fixar seus próprios impostos acarretava, no passado, na geração de dupla tributação sobre os movimentos de estoques, o que ocasionava em uma “guerra fiscal” sobre o comércio dentro do país. Atualmente, para ajudar a aliviar isto, os Estados precisam buscar aprovação prévia para qualquer alteração do ICMS através do Conselho Nacional de Política Fiscal (CONFAZ). No entanto, muitos governos Estaduais ignoram esta regra, criando um entrave fiscal no desenvolvimento do mercado interno brasileiro.

No Estado do Rio de Janeiro, para muitos produtos, o ICMS é maior do que na maioria dos outros Estados da federação. A menor alíquota de ICMS é de 6%, e é para operações com consumo de energia elétrica que são utilizadas para o transporte público de passageiros.

Assim como outros Estados, o Estado do Rio de Janeiro possui alguns benefícios fiscais, que são formas diferenciadas de cobrança de impostos sobre os produtos (estes normalmente possuem menor quantidade de produtores, mas são necessários para a sociedade em geral). O benefício fiscal é uma maneira de incentivar o desenvolvimento de um determinado processo produtivo ou de uma determinada região, por meio de um regime especial de tributação.

Entre os benefícios fiscais existentes no Estado do Rio de Janeiro, há o previsto na Lei ordinária nº 6979 de 31 de março de 2015 e que foi publicada em 1º de abril do mesmo ano. Esta lei conforme evidenciado no ANEXO dispõe sobre o incentivo fiscal regional de 1% sobre o valor das operações de saída interna e interestadual, mais 2% a ser submetido ao Fundo Estadual de Combate a Pobreza (FECP) acerca das mesmas operações, por transferência e por venda, deduzidas as devoluções e vedado o aproveitamento de qualquer crédito fiscal.

O incentivo fiscal regulamentado pela Lei nº 6979 beneficia exclusivamente empresas que exercem atividades industriais situadas em 51 municípios do Estado do Rio de Janeiro no qual se inclui o município de Três Rios e se exclui os municípios de Itatiaia e Rio de Janeiro.

2.6 Considerações finais

Este Capítulo apresentou uma revisão bibliográfica acerca dos conceitos relacionados à compensação de custos e custos logísticos e que terão influência no desenvolvimento do trabalho de pesquisa. Os conceitos aqui apresentados serão utilizados como orientação no

desenvolvimento do Capítulo 5, sendo utilizados como “o elemento” para avaliar o alcance dos objetivos deste trabalho, nos quais juntos com a aplicação das técnicas de modelagem e simulação de sistemas produtivos formam o arcabouço desta pesquisa.

No próximo Capítulo, será tratada a caracterização da modelagem e simulação de sistemas produtivos com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre as metodologias que serão aplicadas nesta pesquisa, para o alcance dos objetivos traçados. Essa etapa é necessária, não apenas para auxiliar no entendimento conceitual da modelagem e simulação de sistemas produtivos, mas também em apresentar a simulação de eventos discretos e os *softwares* existentes para aplicação desta técnica de simulação, versando sobre suas aplicações e sobre como esta técnica é aderente à solução do problema apontado neste trabalho de pesquisa.

3. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS PRODUTIVOS

No Capítulo anterior, foram abordados os conceitos acerca da compensação de custos logísticos em sistemas produtivos, efetuando uma visão geral sobre os componentes de custos logísticos e seus impactos nos sistemas de produção. Neste Capítulo, a ênfase será nos conceitos acerca da modelagem e simulação de sistemas, no qual, desde o início dos anos 70 até os dias hoje, observa-se a modelagem e a simulação de sistemas como um campo em constante evolução de pesquisas com indubitável contribuição para o avanço dos sistemas de produção, no qual este resulta na transformação de materiais e informações em bens para a satisfação de necessidades humanas.

Este Capítulo fornece as informações teóricas que serão necessárias para compreender as questões subjacentes e a razão para a aplicação deste método neste trabalho de pesquisa. É importante notar aqui que este trabalho de pesquisa irá lidar com um determinado tipo de simulação que é a simulação de eventos discretos (SED) baseada em computador. Toda a pesquisa realizada terá o foco mantido na relação entre a gestão de custos e a modelagem e simulação de sistemas produtivos. Neste Capítulo, são apresentados conceitos que dão base para o uso da modelagem em processos de simulação como instrumento para aquisição de conhecimentos em sistemas produtivos e que ajudam a responder importantes questões para tomada de decisões e soluções de problemas.

3.1 A ciência da modelagem em um processo de simulação

A modelagem e a análise de simulação são técnicas utilizadas para a resolução de problemas, previsões ou análise em muitas áreas, por exemplo, na manufatura, engenharia civil, na logística e atividades de transporte, desenvolvimento de sistemas de computadores e *design* de rede, aplicações militares e cuidados de saúde (Mielczarek e Uzialko-Mydlikowska, 2012; Banks *et al.*, 2001; Pidd, 1998). Saven (1995) salienta que a simulação pode ser utilizada para muitas finalidades e propõe doze possíveis motivos para o uso da simulação, nos quais as principais dimensões são as de suporte à decisão, aprendizagem e as aplicações em sistemas de comunicação.

A simulação em geral é um termo amplo e que também pode significar simulações manuais, simuladores dedicados e até mesmo jogos diversos, tais como os jogos empresariais. Shannon (1975) define a simulação como um processo de concepção de um modelo de sistema real e a realização de experiências com este modelo possui a finalidade de se compreender o comportamento de um determinado sistema com várias estratégias, dentro dos limites impostos por um critério ou conjunto de critérios, para a avaliação das operações deste sistema.

Bressan (2002) classifica os modelos de simulação como: Estático ou Dinâmico; Determinístico ou Estocástico; Discreto ou Contínuo; Tempo Real ou Simulado, nos quais Barton (2004) afirma que, independente do tipo, os modelos de simulação permitem obter estimativas acerca do desempenho de um sistema. Portanto, é uma metodologia de resolução

de problemas, vital para a solução de muitos problemas do mundo real em um conjunto diversificado de indústrias.

Holst e Bolmsjö (2001) listaram três áreas de aplicação típicas de simulação, que são: (1) estudos exploratórios de sistemas existentes com o objetivo de melhorá-los; (2) estudos de sistemas existentes com necessidades de algumas mudanças, semelhante ao primeiro objetivo, mas usados para validar uma alternativa específica, por exemplo, um investimento proposto; e (3) criação e validação de novos sistemas. Por estas três aplicações, a simulação fornece análise, descrição e permite a avaliação das capacidades dos sistemas e, se aplicado com sucesso, permite apoiar o trabalho colaborativo por meio das fronteiras organizacionais e, portanto, melhorar a informação e a comunicação dentro das organizações.

A simulação tem sido considerada uma atividade importante, no qual a ajuda do computador para o processo de modelagem, em parte, é devido à crescente complexidade dos sistemas produtivos, e também por causa de seu comportamento dinâmico e estocástico. Segundo Rakiman e Bom (2013), a modelagem e a simulação de sistemas oferecem muitos benefícios na linha de sistema de produção. Entende-se, portanto, que a simulação pode melhorar significativamente o conhecimento do sistema, reduzir o tempo de desenvolvimento e apoiara tomada de decisão em toda a organização quando mesclada a sistemas computacionais.

O tema de utilização de *software* de simulação foi abordado em diferentes livros (Kelton *et al.*, 2010 e 2011; Law, 2007; Ross, 2006; Banks *et al.*, 2001). Várias publicações também discutiram diferentes aspectos de modelagem e de simulação, incluindo a verificação e a validação de modelos e a realização e a análise de experimentos de simulação, como por exemplo, Fischbein e Yellig (2011), Law (2008e 2003), Robinson (2006), Sargent (2005) e Baines *et al.* (2004).

Para Carson (2004), um modelo de simulação computacional compreende em um conjunto indispensável de instrumentos tecnológicos e métodos que permite, por exemplo, a implementação de um projeto de *layout* de fábrica, a modelagem do fluxo de informação e de materiais e o desenvolvimento de sistemas de planejamento e controle de produção, uma vez que permite a experimentação e a validação do processo/produto. Portanto, um modelo de simulação é a representação de um sistema ou processo que incorpora o tempo e as mudanças que ocorrem com o passar do tempo.

O projeto do sistema de produção normalmente envolve decisões de longo prazo, tais como a configuração de recursos ou de capacidades. Por exemplo, Nandkelyar e Christy (1989) apresentam um modelo de simulação em computador conectado com uma implementação do algoritmo Hooke-Jeeves para alcançar a otimização em um sistema flexível de produção. Já Cash e Wilhelm (1988) desenvolveram um modelo de simulação computacional para avaliar os impactos das velocidades de ferramentas operacionais, velocidades de deslocamento robotizado, capacidades de sensores, arranjo da célula de produção e o número de ferramentas fornecidas em uma célula de montagem robotizada.

Além da concepção do sistema físico, a simulação também tem sido amplamente utilizada na investigação dos efeitos da variação de recursos e da capacidade logística. Um exemplo é um modelo de simulação de eventos discretos (SED) que foi utilizado por Chan *et al.* (2002) para determinar a capacidade necessária das operações de logística objetivando permitir operações contínuas de uma indústria química. Outro exemplo é o estudo realizado por Papanagnou e Halikias (2011) que apresentam técnicas para modelagem de simulação de uma planta de produção de bobinas de alumínio utilizando o *software* Matlab®. Os pesquisadores realizaram os testes com os dados reais de produção, permitindo prever os impactos dos vários níveis de recursos e os impactos sobre a utilização da taxa de transferência.

Os resultados das análises realizadas por meio da modelagem e da simulação permitem também avaliar o desempenho das diferentes políticas e estratégias de manutenção em sistemas produtivos. Allaoui e Artiba (2004) estudaram sistemas produtivos que possuem restrições de manutenção. O estudo demonstra como a simulação pode ser utilizada para aperfeiçoar processos com base no tempo de escoamento e na data de vencimento. Já Sharda e Bury (2008), utilizando um modelo de SED, identificaram os impactos de diferentes falhas nas capacidades produtivas em uma indústria de produtos químicos. O modelo de simulação ajuda a compreender componentes de equipamentos-chave que contribuem para a perda de produção.

Como uma poderosa ferramenta para a análise de sistemas estocásticos complexos, a simulação em computador tem sido usada em diversas áreas e campos de atuação, incluindo cuidados de saúde (Mielczarek e Uzialko-Mydlikowska, 2012), *marketing* (Negahban e Yilmaz, 2014), cadeia de suprimento (Terzi e Cavalieri, 2004) e atividades militares (Naseer *et al.*, 2009). Em particular, a simulação tem desempenhado um papel significativo na avaliação do desenho operacional dos sistemas de produção. Aplicações bem sucedidas de simulação em muitos problemas práticos do mundo real provaram a sua eficácia na abordagem de vários problemas no setor manufatureiro.

Segundo Nylund e Andersson (2010), a modelagem e a simulação podem ser utilizadas em muitas áreas diferentes para o desenvolvimento de sistemas produtivos. O processo é incremental, consistindo em várias fases, possibilitando alcançar a melhor solução para a tomada de decisão. Também é iterativo, pois é possível voltar às fases anteriores, a fim de aprimorá-los. Cada uma das fases tem entradas e saídas, para além dos resultados da fase anterior. À medida que o processo evolui, as entradas e as saídas terão apresentações digitais e virtuais mais precisas.

De acordo com Harrell *et al.* (2000), a manufatura é a área onde é encontrada uma maior aplicação à simulação. A sua capacidade única em prever com precisão o desempenho de sistemas complexos o torna ideal para os sistemas de planejamentos operacionais. As incertezas dentro dos sistemas produtivos podem afetar a eficácia das instalações. Por exemplo, um erro na avaliação da procura do produto pode resultar em um *layout* ineficiente.

A aplicação da simulação no projeto de sistemas produtivos deverá continuar crescendo e evoluindo no futuro. Como o setor manufatureiro continua a ser uma parte importante da

economia global, tornando-se cada vez mais competitivo, há a necessidade contínua de aplicação de técnicas mais eficientes para lidar com a crescente complexidade das operações de fabricação (Negahban e Smith, 2014).

3.2 A simulação de eventos discretos (SED)

A SED é uma das técnicas mais utilizadas para analisar e compreender a dinâmica dos sistemas de produção. É uma técnica altamente flexível permitindo avaliar diferentes alternativas de configurações de sistemas e estratégias operacionais de apoio à tomada de decisão no contexto produtivo. Com a melhoria da capacidade de processamento e de memória dos computadores, aumentou ainda mais o uso de SED nos últimos anos (Neganban e Smith, 2014).

Negahban e Smith (2014) realizaram uma pesquisa apresentando uma revisão de 290 artigos publicados entre os anos de 2002 a 2013, relativo à aplicação de SED em sistemas produtivos, o que sugere que, em média, 25 artigos por ano foram adicionados à literatura. Este número médio foi superior à média de seis artigos por ano de acordo com Smith (2003) que pesquisou a literatura em mais de 34 anos, entre os períodos de 1969 a 2002. Isto demonstra um crescimento em publicações sobre SED para aplicação em sistemas produtivos. A revisão realizada teve como objetivo identificar novas áreas de aplicação dos sistemas de simulação.

Segundo Banks *et al.* (2001) e Law (2007), eventos discretos é um conjunto de eventos que ocorrem em ordem cronológica alterando o estado do sistema. O estado do sistema, ou parte dele, é alterado constantemente quando um evento acontece. Os modelos de SED são utilizados para estudar o funcionamento do sistema durante o período de observação. Um modelo de SED pode ser criado de diferentes maneiras, dependendo dos recursos disponíveis e dos objetivos do modelo, podendo ser utilizado:

- Linguagem de programação geral (C ++, C #, *Visual Basic*, Java, entre outros);
- Simulação por linguagem específica de programação, tal como o SIMSCRIPT®.
- Ou programas especialistas de SED, tais como: o 3DCreate®; Automod®; Arena ®; ProModel®; Quest®; Taylor/ ED®; ProcessModel®; entre outros *softwares*.

A utilização da SED oferece inúmeros benefícios que têm sido bem documentados pelos autores do campo da simulação. Thiede *et al.* (2013) afirmam que a SED possui muitas vantagens, principalmente devido à capacidade de capturar a dinâmica de um sistema. Isto não é possível do mesmo modo com uma análise estática, incluindo o mapeamento de processos. A seguinte lista de benefícios tem sido recolhida a partir de muitas fontes de literatura e condensadas incluindo as vantagens típicas quanto à utilização da SED, que são (Banks *et al.*, 2001; Law, 2007):

- As novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, procedimentos organizacionais podem ser explorados sem interromper as operações em curso do sistema real;

- Os novos modelos de *hardware*, *layouts*, sistemas de transporte podem ser testados sem comprometer os recursos para sua aquisição;
- Hipóteses sobre como ou por que determinados fenômenos ocorrem podem ser testados quanto à sua viabilidade;
- O tempo pode ser comprimido ou expandido permitindo uma aceleração ou desaceleração dos fenômenos sob pesquisa;
- Introspecção pode ser obtida sobre a interação de variáveis;
- Uma visão pode ser obtida sobre a importância de variáveis para o desempenho do sistema;
- Um estudo de simulação pode contribuir para a compreensão de como o sistema realmente funciona;
- As “perguntas” podem ser respondidas. Isto é particularmente útil na concepção de novos sistemas.

A SED é uma das técnicas de modelagem mais utilizadas desde quando o uso das simulações por computador começou a se tornar comum na década de 1950. O desenvolvimento da SED acompanhou o desenvolvimento dos computadores e das tecnologias da informação. Em comparação com os primeiros modelos de SED, Banks *et al.*(2001) salienta que os atuais *softwares* de simulação obtiveram desenvolvimentos significativos em suas características e em suas capacidades de operacionalização. Talvez as mudanças mais significativas sejam a forma como os programas são utilizados, com interfaces intuitivas e modernas de utilização que facilitaram o uso (Robinson, 2006; Banks *et al.*, 2001).

3.3 Softwares comerciais de simulação de eventos discretos disponíveis

A maioria dos pacotes de *software* de SED é conhecida como “Modelagem de Interação Visual” (Greasley, 2003). Isto significa que o modelo pode ser construído como uma representação animada que mostra como os movimentos dos elementos são realmente implementados. Além disto, o modelo pode ser construído em várias etapas, podendo ser alterado em qualquer uma destas etapas, e pode ser testado alterando qualquer uma das suas variáveis (Meixell e Gargeya, 2005).

Para compreender o alcance dos recursos e capacidade dos *softwares* de simulação no mercado, o *Institute for Operations Research and the Management Sciences* (ORMS) realizou uma pesquisa com 31 fornecedores de pacotes de 54 *softwares* de simulação. A maioria dos pacotes de *software* pesquisados são pelo método de SED, e em domínios que abrangem principalmente atividades de manufatura, processos de negócios e logística. Todos os pacotes de *software* são programas especialistas com recursos de parametrização, o que torna possível criar modelos padrão que podem ser ainda mais personalizados com programação adicional.

Uma análise abrangente da pesquisa realizada pela ORMS evidencia que realmente há diferentes abordagens consoantes ao seu foco específico, características e aplicabilidade. Além dessas características, é importante que as ferramentas sejam integradas e flexíveis permitindo modelar e simular diferentes situações de produção, priorizando a maximização da produtividade, permitindo identificar áreas potenciais para melhorias e, por fim, permitir a

modelagem de cenários para apoiar as decisões de investimento. Ainda assim, eles precisam ser capazes de lidar com o nível de incerteza acerca dos dados, por exemplo, a falta de dados relativos ao consumo de energia, aos modelos das máquinas, e as estimativas simplificadas, e, portanto, permitir a análise de diversos campos de ação possíveis dentro de um modelo.

Na Tabela 3.1, são apresentados, resumidamente, alguns *softwares* de SED que participaram da pesquisa desenvolvida pela ORMS. Essa pesquisa foi publicada na revista americana *OR/MS Today* em maio de 2015. Nesta Tabela 3.1, que é um resumo do levantamento realizado, as informações relativas às ferramentas são: a denominação dos *softwares*, os fornecedores, as aplicações típicas do *software*, os principais mercados para os quais os *softwares* são aplicados e, por fim, informações sobre os preços dos *softwares*, em suas versões.

Pode-se observar na Tabela 3.1 que, dos 34 *softwares* apresentados, 33 possuem aplicações típicas para a modelagem e simulação em sistemas produtivos, nos quais o único excluído é o *software* MedModel®, no qual o principal mercado de aplicação deste é o de saúde e ciências da vida.

Outro destaque diz respeito à variação dos preços dos *softwares*. Entre as versões *standard*, o preço varia entre *software* gratuito, como o JaamSim®, que possui código aberto, ou o *software* BLUESSS *simulation package*® que é comercializado ao valor de US\$ 90,00 (menor custo entre os *softwares* pagos) e os *softwares* ProModel® e MedModel®, todos os dois comercializados pela ProModel Corporation™, com preços de US\$ 21.500 cada. Já nas versões *student* a variação dos preços diminui e o destaque fica no baixo custo cobrado pelas empresas, ou até mesmo na gratuidade dos *softwares*, levando a conclusão de que o baixo valor tem a função de incentivar o uso do *software* com o objetivo da aprendizagem acerca do método de SED.

Tabela 3.1: Pesquisa 2015 de *softwares* de SED – aplicações/ principais mercados/ informações sobre preços.

Produto	Empresa	Aplicações típicas do software	Principais mercados para os quais o software é aplicado	Informações sobre preços (US\$)	
				Versão <i>standard</i>	Versão <i>student</i>
Analytica	Lumina Decision Systems, Inc	Todos os tipos de modelagem e apoio à decisão, incluindo análise de decisão, incerteza, risco, otimização.	Economia, energia, meio ambiente, engenharia, educação, financeiro, planejamento de operações e gerenciamento de projetos.	Profissional - 995,00 Empresa - 2.795,00 Otimizador - 4.995,00	Gratuito
AnyLogic	AnyLogic North America	Ferramenta de simulação de uso geral. modelagem de eventos discretos, orientado a objeto (OO) e dinâmica de sistemas.	Cadeias de suprimentos, logística, saúde, fabricação, defesa, marketing, processos sociais, entre outros.	n/e	Gratuito
Arena	Rockwell Automation	Utilizado para simular e analisar sistemas existentes e propostos, bem como realizar análises operacionais.	Manufatura, cadeia de suprimentos, governo, cuidados de saúde, logística, alimentos e bebidas, embalagens, mineração e <i>callcenters</i> .	n/e	n/e
BLUESSS simulation package	Stanislaw Raczynski	SED e contínuos.	Engenharia.	90,00	n/e
Circuit Logix	Logic Design Inc.	Simulação de circuitos elétricos e eletrônicos.	Faculdades, universidades, centros de formação técnica.	295,00	145,00
DiscoverSimVersion 2	SigmaXL, Inc.	Excel <i>Add-In</i> para Simulação de Monte Carlo e otimização global.	Qualidade, <i>design</i> para <i>six-sigma</i> , gerenciamento de riscos e projetos.	995,00	200,00
DPL	Syncopation Software	Análise de decisão de investimento de capital, priorização de pesquisa e desenvolvimento (P&D), análise de risco e simulação de Monte Carlo.	Farmacêutica, petróleo e gás, energia, desenvolvimento de novos produtos, meio ambiente, serviços públicos.	1.495,00	149,00
Enterprise Dynamics	INCONTROL Simulation Solutions	Manufatura, manuseio de materiais, logística.	Manufatura, manuseio de materiais, logística.	entre 4.500,00 a 17.800,00	Gratuito
Epicenter SaaS Platform	Forio	Importar modelos de negócios, desenvolver Interfaces sofisticadas de usuário, experimento com cenários para a execução de processos de negócios.	Gerenciamento de mudanças, ensino e desenvolvimento (E&D), inovação, gerenciamento de projetos, experiência do cliente e ciclo de vida.	n/e	n/e
ExtendSim AT	Imagine That Inc.	Modelagem de linhas de produção, cadeias de suprimentos, <i>lean/ six-sigma</i> , <i>callcenters</i> , logística, salas de emergência, transporte.	Manufatura, negócios, saúde, segurança e defesa, transporte, farmácia, engenharia ambiental e comunicação.	2.495,00	100,00
ExtendSim Suite	Imagine That Inc.	Fiabilidade, processos de alta velocidade/ volume, linhas de embalagem, orientado a objeto, fluxos de processo, <i>design</i> de sistemas e análise prescritiva.	Alimentos e bebidas, manufatura, energia, petróleo e gás, mineração, celulose e papel, governo e setor público, vendas e gestão.	4.995,00	100,00
FlexSim	FlexSim Software Products, Inc.	Simulação e modelagem de qualquer processo, com o objetivo de analisar, compreender e aperfeiçoar esse processo.	Manufatura, embalagem, armazenagem, manuseio de materiais, cadeia de suprimentos, logística, saúde, manufatura, aeroespacial, mineração.	entre 10.000,00 a 20.000,00	entre 0 a 100,00
GoldSim	GoldSim Technology Group	Análise de risco de engenharia, planejamento estratégico, <i>design</i> e confiabilidade do sistema, gerenciamento de recursos hídricos e gerenciamento de resíduos.	Engenharia ambiental, mineração, recursos hídricos, energia, nuclear, gestão de resíduos.	4.450,00	Gratuito

Tabela 3.1: Pesquisa 2015 de *softwares* de SED – aplicações/ principais mercados/ informações sobre preços.

Produto	Empresa	Aplicações típicas do software	Principais mercados para os quais o software é aplicado	Informações sobre preços (US\$)	
				Versão <i>standard</i>	Versão <i>student</i>
JaamSim	Ausenco	Software livre de código aberto para modelos discretos e contínuos. Fácil de usar, rápido e escalável para os maiores modelos.	Produção, educação, pesquisa, entre outros. Paletas específicas de objetos podem ser adicionadas por usuários usando Java.	Gratuito, código aberto	Gratuito, código aberto
LogixSim	Logic Design Inc.	Conjunto de simulação que fornece teste, depuração e programação de eletrônicos, controlador lógico programável (CLP), robótica.	Faculdades, universidades, centros de formação técnica.	495,00	n/e
MedModel	ProModel Corporation	Otimização e melhoria de processos, utilização de recursos, capacidade do sistema e taxa de transferência.	Saúde e ciências da vida.	21.500,00	30,00
Micro Saint Sharp	Alion Science and Technology	Ferramenta de uso geral. Melhoria/ otimização de processos, justificação de custos, implementações enxutas, desempenho humano.	Saúde, desempenho humano, cadeias de suprimentos, fabricação, defesa, marketing, finanças, energia, educação, transporte.	n/e	50,00
Pedestrian Dynamics	INCONTROL Simulation Solutions	Gerenciamento e controle de multidões.	Arquitetos, proprietários de instalações, gerentes de atividades de emergência e segurança, escolas.	9.995,00	Gratuito
PLCLogix	Logic Design Inc.	Projetar, testar, depurar programas de CLP utilizando simulação 3D realista.	Faculdades, universidades, centros de formação técnica.	295,00	n/e
Polaris	Booz Allen	É uma solução que realiza a integração de custo e cronograma para a análise de risco utilizando o método de Monte Carlo.	Todos os mercados com projetos complexos, incluindo construção, tecnologia da informação e energia.	5.000,00	n/e
ProModel Optimization Suite	ProModel Corporation	Otimização e melhoria de processos, utilização de recursos, capacidade do sistema e taxa de transferência.	Fabricação, produção, cadeia de suprimentos e logística, saúde e ciências da vida.	21.500,00	30,00
RASON Analytics API	Frontline Systems Inc.	Análise de risco de negócio, decisões de alocação de recursos sob incerteza.	Finanças/ investimentos, seguros, produtos farmacêuticos, petróleo e gás, alguns aplicativos para consumidores.	99,00 mensal	n/d
Risk Solver Pro/ Platform	Frontline Systems Inc.	Análise de risco de negócio, decisões de alocação de recursos sob incerteza.	Finanças/ investimento, seguros, produtos farmacêuticos, petróleo e gás, educação.	Risk Solver Pro - 995,00 Plataforma Risk Solver - 4.995,00	Gratuito
Simio Design/Team	Simio LLC	Produto ideal para modeladores e pesquisadores profissionais. Poderosa modelagem orientada a objeto e animação 3D integrada para modelagem rápida.	Acadêmico, aeroespacial e defesa, aeroportos, saúde, manufatura, mineração, militar, petróleo e gás, cadeia de suprimentos, transporte.	n/e	25,00
Simio Enterprise Edition	Simio LLC	Aumenta o ciclo de vida do modelo com uma única ferramenta que constrói modelos e os estende para o planejamento e agendamento baseado em riscos.	Acadêmico, aeroespacial e defesa, aeroportos, saúde, manufatura, mineração, militar, petróleo e gás, cadeia de suprimentos, transporte.	n/e	25,00
Simio Express	Simio LLC	Modelagem OO, poderosa e totalmente funcional, com animação 3D integrada, proporcionando um início rápido e uma modelagem rápida.	Acadêmico, aeroespacial e defesa, aeroportos, saúde, manufatura, mineração, militar, petróleo e gás, cadeia de suprimentos, transporte.	4.850,00	25,00

Tabela 3.1: Pesquisa 2015 de *softwares* de SED – aplicações/ principais mercados/ informações sobre preços.

Produto	Empresa	Aplicações típicas do software	Principais mercados para os quais o <i>software</i> é aplicado	Informações sobre preços (US\$)	
				Versão <i>standard</i>	Versão <i>student</i>
Simio Portal Edition	Simio LLC	Uma vez que o modelo é construído, pode-se armazená-lo em <i>PortalEdition</i> para se executar experimentos, criar planos e executar análises de riscos.	Acadêmico, aeroespacial e defesa, aeroportos, saúde, manufatura, mineração, militar, petróleo e gás, cadeia de suprimentos, transporte.	n/e	n/e
SIMUL8 Professional	SIMUL8 Corporation	<i>Lean</i> , linha de montagem, planejamento estratégico, equilíbrio de linhas, sistemas de saúde, serviços compartilhados e planejamento de capacidade.	Manufatura, saúde, educação, engenharia, cadeia de suprimentos, logística, negócios, gestão de processos de negócios, <i>lean</i> , setor público, <i>callcenters</i>	7.495,00	1.995,00
SLIM	MJC2	Simulação e planejamento de logística e cadeia de suprimentos.	Todas as operações de logística, manufatura e cadeia de suprimentos.	n/e	n/d
Solver SDK Pro/ Platform	Frontline Systems Inc.	Análise de risco de negócio, decisões de alocação de recursos sob incerteza.	Finanças/ investimento, seguros, produtos farmacêuticos, petróleo e gás, comercialização.	Solver SDK Pro - 995,00 Solver SDK Platform - 1.995,00	n/d
Tecnomatix Plant Simulation	Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.	SED, visualização, análise e otimização do fluxo de materiais, utilização de recursos e logística.	Automotivo, consultoria, aeroespacial, logística, alta tecnologia e eletrônica, máquinas, saúde.	n/e	Gratuito
Transportation Logistics Simulator (TLS)	Ausenco	Logística da cadeia de suprimento de minas a porto e de porto a porto para as indústrias de mineração, petróleo e gás.	Portos, terminais marítimos, plataformas <i>off-shore</i> , ferrovias, oleodutos, transporte, transbordo, barcas, navios-tanque.	n/e	n/e
WITNESS	Lanner	Otimização de instalações e processos, recursos e taxa de transferência.	Produção, petróleo e gás, saúde, nuclear, defesa.	n/e	Gratuito

Obs.: (n/e) = não especificado pelas empresas produtoras dos softwares; (n/d) = não disponível na versão.

Fonte: OR/MS TODAY (Institute for Operations Research and the Management Sciences), 2015.

Na Tabela 3.2, é apresentada a continuação resumida da pesquisa realizada pelo ORMS relativa ao levantamento de informações acerca de *softwares* de SED, evidenciando características acerca do sistema operacional compatível com o *software* e as características acerca da construção do modelo de simulação. Pode-se observar que, dos 34 *softwares* apresentados, apenas dois não são aplicados ao sistema operacional Windows. Sete *softwares* podem rodar no sistema operacional Mac® da Apple®, apenas seis *softwares* podem ser utilizados no sistema operacional Linux® (sistema operacional gratuito), e apenas o *software* Simio *Portal Edition* funciona em qualquer navegador *Web*, no qual este *software*, assim como o RASON *Analytics API*, não utiliza sistemas operacionais locais.

Observa-se que 11 dos 34 *softwares* analisados não permitem a construção gráfica, do tipo ícone ou arrasta-e-solta, do modelo. Esta funcionalidade mostra-se interessante, pois dá dinamismo a modelagem computacional, principalmente quando o modelador não possui habilidade com linguagem de programação. Com relação ao elemento “Construção de modelos utilizando programação”, observa-se que oito *softwares* não permitem esta funcionalidade. Portanto, mesmo não estando explícito na pesquisa realizada pela ORMS, pode ser que tais *softwares* possuam limitações acerca de sistemas produtivos que possuam lógicas de sistemas com elevado grau de complexidade.

Outros pontos importantes e que se deve destacar diz respeito à capacidade do *input* da taxa de distribuição probabilística na entrada e ao suporte à análise de dados de saída. Observa-se que, quanto ao *input* da taxa de distribuição probabilística na entrada, 11 *softwares* não possuem essa funcionalidade, importante principalmente quando há aleatoriedade no sistema. Quanto ao suporte à análise de dados de saída, apenas quatro *softwares* não possuem essa funcionalidade. Provavelmente os dados são gerados (não está evidenciado na pesquisa), mas o *software* não possui funções especializadas no suporte a análise dos dados de saída que foram gerados.

Com relação à capacidade de execução em lote ou *design* experimental, 10 *softwares* não permitem a execução em lote e o *design* experimental. Com relação à capacidade de otimização do sistema modelado, a maioria dos *softwares* dão suporte a esta funcionalidade, ou nativo ao próprio programa ou com a integração de outros *softwares* especialistas, como por exemplo, o ProModel® que permite a otimização do sistema modelado quando aplicado integrado ao *software* SimRunner. Um destaque também fica por conta de que a maioria dos *softwares* pesquisados permite a alocação do custo/ custeio no modelo. Esta funcionalidade apresenta-se relevante nos casos em que é necessário analisar, por exemplo, a compensação de custos em sistemas produtivos.

Tabela 3.2: Pesquisa 2015 de *softwares* de SED – sistema operacional/ características de construção do modelo.

Produto	Sistema operacional	Construção do modelo							
		Construção gráfica do modelo	Construção de modelos utilizando programação	Depuração do tempo de execução	Input da taxa de distribuição na entrada	Suporte à análise dos dados de Saída	Execução em lote ou design experimental	Otimização	Alocação de Custo/ Custeio no modelo
Analytica	Windows	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
AnyLogic	Windows, Mac, Linux	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Arena	Windows	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
BLUESSS <i>simulation package</i>	Windows	sim	sim	sim	não	sim	sim	não	não
Circuit Logix	Windows	não	não	sim	não	sim	não	não	não
DiscoverSim Version 2	Windows	não	não	não	sim	sim	não	sim	não
DPL	Windows, Mac	sim	sim	não	não	sim	não	sim	sim
Enterprise Dynamics	Windows	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Epicenter SaaS Platform	Windows, Mac, IOS, Android, Linux	não	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim
ExtendSim AT	Windows, Mac	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
ExtendSim Suite	Windows, Mac	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
FlexSim	Windows	sim	sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim
GoldSim	Windows	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim
JaamSim	Windows, Mac, Linux	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	não
LogixSim	Windows	não	não	sim	não	não	não	não	não
MedModel	Windows	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Micro Saint Sharp	Windows	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Pedestrian Dynamics	Windows	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim
PLCLogix	Windows	não	não	sim	não	não	não	não	não
Polaris	Windows	não	não	não	sim	não	não	Sim	sim
ProModel Optimization Suite	Windows	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
RASON Analytics API	Baseado na nuvem	não	sim	não	sim	sim	não	sim	sim
Risk Solver Pro/ Platform	Windows	não	sim	não	sim	sim	não	sim	sim
Simio Design/Team	Windows	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Simio Enterprise Edition	Windows	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Simio Express	Windows	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim

Tabela 3.2: Pesquisa 2015 de *softwares* de SED – sistema operacional/ características de construção do modelo.

Produto	Sistema operacional	Construção do modelo							
		Construção gráfica do modelo	Construção de modelos utilizando programação	Depuração do tempo de execução	Input da taxa de distribuição na entrada	Suporte à análise dos dados de Saída	Execução em lote ou design experimental	Otimização	Alocação de Custo/ Custeio no modelo
Simio Portal Edition	Qualquer navegador da Web	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim
SIMUL8 Professional	Windows	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim
SLIM	Windows, Linux, Unix	sim	sim	não	não	sim	Sim	sim	sim
Solver SDK Pro/ Platform	Windows, Linux, Azure, AWS	não	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim
Tecnomatix Plant Simulation	Windows	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Transportation Logistics Simulator (TLS)	Windows, Mac, Linux	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	não
WITNESS	Windows	não	não	sim	não	sim	sim	sim	sim

Fonte: OR/MS TODAY (*Institute for Operations Research and the Management Sciences*), 2015.

3.4 Considerações finais

Neste Capítulo, foram apresentados os conceitos sobre a modelagem e simulação de sistemas produtivos, dando destaque ao método de SED, abordando os *softwares* disponíveis. No próximo Capítulo, é apresentada a realização da seleção do *software* de SED aplicando a técnica de múltiplos critérios denominada *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Será tratada a caracterização dos critérios eleitos como sendo cruciais para a escolha do *software* de SED e, por conseguinte, o desenvolvimento do presente estudo com o objetivo de tornar aplicável o método proposto no Capítulo 5. Essa etapa é necessária para auxiliar na escolha da(s) ferramenta(s) de pesquisa operacional mais adequada(s) ao alcance dos objetivos traçados neste estudo e consequentemente na solução do problema de pesquisa.

4. ESCOLHA DO *SOFTWARE* DE SED APLICANDO O MÉTODO AHP

No Capítulo anterior, foram apresentados os conceitos acerca da modelagem e simulação de sistemas produtivos, elucidando as particularidades da ciência da modelagem em um processo de simulação, apresentando os elementos que compõe a SED, suas aplicações e os *softwares* comerciais disponíveis, além de apresentar os tópicos essenciais para entender a aplicabilidade do método de SED. Contudo, é importante escolher o *software* de simulação mais adequado e aderente aos objetivos de um estudo envolvendo a SED.

Avaliar e selecionar os pacotes de *software* que atendam aos requisitos de um estudo de simulação é um processo de tomada de decisão complexo. A seleção incorreta de um pacote de *software* pode se tornar dispendiosa e afetar negativamente os processos metodológicos e o alcance dos objetivos do estudo. Este Capítulo apresenta uma abordagem hierárquica para a seleção do *software* de SED que foi utilizado neste trabalho de pesquisa. Os critérios para a seleção do *software* de SED para sistemas produtivos foram definidos, avaliados e priorizados. Ao utilizar a matriz de fatores prioritários, os *softwares* de SED disponíveis foram analisados permitindo avaliar sua aderência e aplicabilidade à solução dos problemas deste estudo.

4.1 A seleção do *software* de simulação utilizando o método AHP

O tema acerca da avaliação e da seleção de *softwares* de simulação tem sido objeto de vários estudos de pesquisa. Pidd (1998) forneceu alguns conselhos gerais sobre a seleção de *software* de SED. Holder (1990) propôs diretrizes para a seleção de *software* de simulação, incluindo o desenvolvimento de um modelo preliminar de aplicação, consideração de recursos disponíveis e aplicações futuras.

Davis e Williams (1994) enfatizaram a necessidade de analisar completamente os requisitos de um sistema antes de selecionar um *software* de simulação, pois os pacotes de simulação variam amplamente em capacidade. Nikoukaran e Paul (1999) identificaram alguns dos critérios que devem ser ponderados durante a seleção do *software* de simulação. Hlupic e Paul (1996) representaram uma abordagem metodológica para a seleção de um *software* de simulação para uma indústria.

Law e McComas (1998) destacaram alguns critérios básicos para avaliação de *software* de simulação. Sarkis e Sundarraj (2000) discutiram vários fatores para a avaliação estratégica das tecnologias de informação da empresa. Uma estrutura para a avaliação do *software* de gestão empresarial foi apresentada no trabalho de Teltumbde (2000). Um modelo de programação de metas foi desenvolvido por Badri *et al.* (2001). Neste modelo, foi realizada a seleção de um sistema de informação gerencial considerando múltiplos critérios, incluindo benefícios, *hardware*, *software* e outros custos, fatores de risco, preferências dos tomadores de decisão e usuários, tempo de conclusão e restrições de tempo de treinamento.

A aplicação do método AHP na tomada de decisões não é algo novo. Muitos pesquisadores e tomadores de decisão utilizam essa técnica em seus trabalhos. Haq e Kannan (2006) recomendam a técnica AHP para a solução do problema de seleção de fornecedor, enquanto Bertolini *et al.* (2006) realizaram a avaliação de *softwares* para a configuração de arranjos

industriais utilizando o método AHP. Já Abdi e Labib (2003) aplicaram a técnica como método de planejamento estratégico em um sistema de produção. Portanto, entende-se que a técnica AHP representa uma das abordagens mais promissoras dos problemas de decisão de múltiplos critérios.

4.2 Os critérios para seleção de *software* de SED utilizando o método AHP

Nikoukaran e Paul (1999) destacam que, para se realizar a seleção do *software* de simulação é necessário definir os critérios que são importantes e que estão disponíveis na literatura, objetivando-se priorizar esses critérios. Com base nesses critérios priorizados, pode-se então selecionar o *software* de SED mais adequado.

Portanto, inicialmente definiram-se, com base na literatura, os diferentes critérios para a seleção do *software* de simulação. Os critérios que são importantes e impactantes para o desenvolvimento do estudo são selecionados. No Quadro 4.1, são apresentados os critérios que foram definidos como sendo importantes a serem considerados ao selecionar o *software* de SED para o presente trabalho de pesquisa.

Cabe destacar que alguns destes critérios são citados da Tabela 3.1 e da Tabela 3.2, baseado na pesquisa desenvolvida pela ORMS e publicada na revista americana *OR/MS Today* em maio de 2015.

Quadro 4.1: Critérios importantes para a seleção do *software* de SED.

Critério	Abreviação
Preço	PRCO
Compatibilidade	COMP
Animações	ANIM
Biblioteca de Ícones	BICO
Desenvolvimento do modelo	DMOD
Geração de relatórios	GREL
Velocidade de execução do modelo	VEXE
Análise dos dados de entrada	ANDE
Funcionalidade	FUNC
Programação	PROG
Análise dos dados de saída	ANDS
Habilidade do modelador com o <i>software</i>	HABM

Fonte: Adaptado de Tewoldeberhan *et al.* (2002), Nikoukaran *et al.* (1998), Hlupic e Mann (1995), Davis e Williams (1994), Banks (1991).

4.3 Os *softwares* de SED avaliados

Devido às tendências emergentes em tecnologia e ao rápido avanço no campo de desenvolvimento de *software*, existe uma variedade de *softwares* disponíveis no mercado. Contudo, o foco é exclusivamente os *softwares* relevantes para a avaliação dos sistemas produtivos. Outro fator relevante e que impactou como uma delimitação quanto a uma primeira triagem do *software* de simulação diz respeito à disponibilidade do *software* para uso. Somente foram analisadas três opções de *software* pelo fato de que apenas estes estão disponíveis para uso, ou na instituição de ensino superior ao qual fomenta este trabalho de

pesquisa, ou já adquirido pelo pesquisador. A realização de novas aquisições de outros *softwares* impactaria no dispêndio de recursos financeiros escassos. Assim sendo, os *softwares* avaliados por meio da técnica AHP são: ARENA®; ProModel®; e @Risk®.

4.4 Visão geral e aplicação da AHP

Nesta seção, será realizada uma breve introdução sobre o método AHP e sobre sua aplicação como metodologia de solução para priorização de critérios importantes para a seleção do *software* de SED. As várias matrizes obtidas para os principais critérios e os *rankings* aqui descritos estão de acordo com a perspectiva da pesquisa. Segundo Saaty (1980), o processo hierárquico analítico (AHP) é uma poderosa e flexível ferramenta de tomada de decisão que ajudam analistas a estabelecerem prioridades e a tomarem decisões, no caso em que os aspectos quantitativos e qualitativos de uma decisão precisarem ser considerados.

Isto é feito reduzindo as decisões complexas a uma série de pares de comparações, calculando os valores e depois sintetizando os resultados. Saaty (1980) ressalta que a técnica AHP não só ajuda os decisores a chegarem à melhor decisão, mas também fornece uma justificativa clara para a decisão. Para tanto, Saaty e Vargas (2012) ressaltam que o decisor julga a importância de cada critério em comparações em pares, no qual, portanto, o resultado do método será uma classificação ou ponderação prioritária de cada alternativa de decisão conforme apresentado no Quadro 4.2. Basicamente, há três fases para considerar o problema de decisão pela técnica AHP: (1) construir hierarquias; (2) realizar o julgamento comparativo e (3) efetuar a síntese de prioridades.

Quadro 4.2: Escala fundamental para julgamentos comparativos.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância fraca de um sobre outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo em relação ao outro.
5	Importância forte ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro.
7	Importância muito forte ou demonstrada	Um atributo é fortemente favorecido em relação ao outro; seu predomínio de importância é demonstrado na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de favorecimento entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2001).

Segundo Saaty (1980), a execução da técnica AHP ocorre em cinco etapas: (1) decidir os critérios de seleção; (2) avaliar a importância relativa desses critérios utilizando comparações em pares; (3) avaliar cada escolha potencial em relação a cada outra escolha com base em cada critério de seleção através da realização de comparações entre pares das escolhas; (4) combinar as classificações derivadas nas etapas (2) e (3) para obter uma classificação relativa global para cada escolha potencial e (5) efetuar uma síntese de prioridades e medição de consistência.

Para se efetuar a Etapa (4), que é a combinação das classificações derivadas nas Etapas (2) e (3), com o objetivo de se obter uma classificação relativa global para cada escolha potencial, é necessário se efetuar o cálculo conforme demonstrado na Equação (1).

$$a_i = \sum_i (w_i - k_{ij}) \quad (1)$$

Onde:

a_i = Classificação relativa global para o método j

w_i = Peso normalizado médio para o critério i

k_{ij} = Classificação média normalizada para o método j com referência ao critério i

Já a Etapa (5) ocorre em três passos conforme abaixo. Essa Etapa consiste em executar uma síntese de prioridades e a medição de consistência.

- I. Calcular o auto vetor normalizado e o λ_{max} para cada matriz;
- II. Calcular o índice de consistência (IC) para cada matriz de ordem n conforme demonstrado na Equação (2);

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (2)$$

- III. Calcular a razão de consistência (RC) utilizando a Equação (3).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3)$$

Onde:

IR é um índice randômico de consistência conhecida, obtido a partir da Tabela 4.1 proposta por Saaty (1980).

O índice randômico de consistência (IR) varia de acordo com o tamanho da matriz e foi obtido a partir de um grande número de simulações variando de acordo com a ordem da matriz. A Tabela 4.1 apresenta o valor do índice de consistência randômico (IR) para as matrizes de ordem 1 a 12 obtidas pela aproximação de índices aleatórios utilizando um tamanho de amostra de 500 observações (Saaty, 1980).

Tabela 4.1: Índice de consistência randômico.

Número de critérios	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor IR	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,48	1,51	1,53

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

4.5 Ferramenta *SuperDecisions* para a realização do método AHP

A ferramenta *SuperDecisions* é um *software* gratuito de apoio à tomada de decisão multicritério baseada no processo de análise hierárquica (AHP). Essa ferramenta possui uma metodologia de análise pareada realizando comparações inteligentes para se obter as prioridades que possam refletir com mais precisão as percepções e os valores dos critérios. Além disto, o *software* sintetiza ou combina as prioridades que podem ser utilizadas, derivando para cada faceta do problema, para se obter as prioridades gerais das alternativas. Ao realizar uma análise “o que aconteceria se”, a ferramenta permite determinar rapidamente como uma mudança na importância de um critério afeta as alternativas de escolha.

4.6 A aplicação da técnica AHP

Após a seleção dos critérios, o modelo de decisão AHP para seleção do *software* de SED é executado e os resultados são validados. A matriz de julgamento dos critérios iniciais para comparação em pares foi elaborada com base no que se entende por importante pelo pesquisador e, em seguida, esses critérios foram priorizados com o uso da técnica AHP. Em seguida, essas matrizes priorizadas foram ainda validadas pelo *software SuperDecisions* para evitar qualquer erro no conjunto de soluções.

Para se utilizar o método AHP, primeiro é necessário configurar a exigência nas linhas e colunas de uma matriz $n \times n$. Uma vez que há doze critérios principais, a matriz de requisitos consiste de doze linhas e doze colunas. A matriz foi preenchida utilizando uma escala de preferências como sugerido por Thomas Saaty e apresentado no Quadro 4.2. Em seguida, foi realizada a comparação em pares de todos os critérios utilizando os valores da escala conforme mencionado no Quadro 4.2, e evidenciado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Matriz de julgamento dos critérios.

	PRCO	COMP	ANIM	BICO	DMOD	GREL	VEXE	ANDE	FUNC	PROG	ANDS	HABM
PRCO	1	3	7	7	3	7	7	5	1/5	5	5	1/3
COMP	1/3	1	3	7	1	5	5	3	1/7	3	3	1/5
ANIM	1/7	1/3	1	1	1/3	1	3	1/3	1/9	1/3	1/3	1/7
BICO	1/7	1/7	1	1	1/5	1/3	1/3	1/3	1/9	1/3	1/3	1/9
DMOD	1/3	1	3	5	1	1/5	1/3	3	1/7	1	3	1/5
GREL	1/7	1/5	1	3	5	1	1/3	1/3	1/7	1	1/3	1/5
VEXE	1/7	1/5	1/3	3	3	3	1	3	1/7	3	2	1/5
ANDE	1/5	1/3	3	3	1/3	3	1/3	1	1/5	3	1	1/5
FUNC	5	7	9	9	7	7	7	5	1	7	7	5
PROG	1/5	1/3	3	3	1	1	1/3	1/3	1/7	1	1/3	1/5
ANDS	1/5	1/3	3	3	1/3	3	1/2	1	1/7	3	1	1/5
HABM	3	5	7	9	5	5	5	5	1/5	5	5	1
SOMA	10,84	18,88	41,33	54,00	27,20	36,53	30,17	27,33	2,68	32,67	28,33	7,99

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a comparação dos critérios em pares efetuou-se uma coleta de dados de julgamentos com 14 especialistas, nos quais cada um dos especialistas realizou uma comparação pareada entre cada um dos critérios. Os dados obtidos com os especialistas foram tratados e transformados em mediana, conforme exposto na Tabela 4.2, para cada uma das comparações e,

posteriormente, avaliou-se a razão de consistência dos julgamentos, conforme exposto na Equação (3).

Os Passos seguintes foram: (1) efetuar a soma das colunas, por exemplo, na coluna do critério PRCO a soma será 10,84; (2) calcular o auto vetor de todos os fatores. O auto vetor é o produto da raiz n da multiplicação dos pesos dos doze critérios em linha, por exemplo, para o critério PRCO o auto vetor será $\sqrt[12]{1 \times 3 \times 7 \times 7 \times 3 \times 7 \times 7 \times 5 \times 0,2 \times 5 \times 5 \times 0,33} = 2,7413$; (3) normalizar o auto vetor, que é a divisão do auto vetor do critério pela soma dos auto vetores obtidos de todos os critérios; (4) e, na sequência, é obtido o λ_{max} que é a soma dos produtos da soma das colunas dos critérios multiplicado pelo auto vetor normalizado dos critérios.

$$\begin{array}{l}
 \left(\begin{array}{l}
 10,84 \times 0,1498 \\
 18,88 \times 0,0822 \\
 41,33 \times 0,0228 \\
 54 \times 0,0152 \\
 27,2 \times 0,0445 \\
 36,53 \times 0,0288 \\
 30,17 \times 0,0462 \\
 27,33 \times 0,04 \\
 2,68 \times 0,3117 \\
 32,67 \times 0,0296 \\
 28,33 \times 0,0403 \\
 7,99 \times 0,1891
 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l}
 1,62 \\
 1,55 \\
 0,94 \\
 0,82 \\
 1,21 \\
 1,05 \\
 1,39 \\
 1,09 \\
 0,84 \\
 0,97 \\
 1,14 \\
 1,51
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

$$\lambda_{max} = 1,62 + 1,55 + 0,94 + 0,82 + 1,21 + 1,05 + 1,39 + 1,09 + 0,84 + 0,97 + 1,14 + 1,51 = 14,1361$$

Estes quatro Passos são apresentados por meio da Tabela.

Tabela 4.3: Matriz de julgamento dos critérios obtida com o auto vetor normalizado e o λ_{max} .

	PRCO	COMP	ANIM	BICO	DMOD	GREL	VEXE	ANDE	FUNC	PROG	ANDS	HABM	Auto Vetor	Vetor Normalizado	λ_{max}
PRCO	1,00	3,00	7,00	7,00	3,00	7,00	7,00	5,00	0,20	5,00	5,00	0,33	2,7413	0,1498	1,62
COMP	0,33	1,00	3,00	7,00	1,00	5,00	5,00	3,00	0,14	3,00	3,00	0,20	1,5050	0,0822	1,55
ANIM	0,14	0,33	1,00	1,00	0,33	1,00	3,00	0,33	0,11	0,33	0,33	0,14	0,4174	0,0228	0,94
BICO	0,14	0,14	1,00	1,00	0,20	0,33	0,33	0,33	0,11	0,33	0,33	0,11	0,2774	0,0152	0,82
DMOD	0,33	1,00	3,00	5,00	1,00	0,20	0,33	3,00	0,14	1,00	3,00	0,20	0,8149	0,0445	1,21
GREL	0,14	0,20	1,00	3,00	5,00	1,00	0,33	0,33	0,14	1,00	0,33	0,20	0,5265	0,0288	1,05
VEXE	0,14	0,20	0,33	3,00	3,00	3,00	1,00	3,00	0,14	3,00	2,00	0,20	0,8449	0,0462	1,39
ANDE	0,20	0,33	3,00	3,00	0,33	3,00	0,33	1,00	0,20	3,00	1,00	0,20	0,7329	0,0400	1,09
FUNC	5,00	7,00	9,00	9,00	7,00	7,00	7,00	5,00	1,00	7,00	7,00	5,00	5,7060	0,3117	0,84
PROG	0,20	0,33	3,00	3,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,14	1,00	0,33	0,20	0,5415	0,0296	0,97
ANDS	0,20	0,33	3,00	3,00	0,33	3,00	0,50	1,00	0,14	3,00	1,00	0,20	0,7371	0,0403	1,14
HABM	3,00	5,00	7,00	9,00	5,00	5,00	5,00	5,00	0,20	5,00	5,00	1,00	3,4609	0,1891	1,51
SOMA	10,84	18,88	41,33	54,00	27,20	36,53	30,17	27,33	2,68	32,67	28,33	7,99	18,3056	1,0000	14,1361

Fonte: Elaborado pelo autor

Os auto vetores normalizados representam os valores percentuais de forma não hierárquica e são demonstrados na Figura 4.1. Estes demonstram a imagem clara da prioridade de todos os critérios importantes, de acordo com o levantamento realizado com os especialistas. Por exemplo, o preço (PRCO) é 0,149752 de 1, portanto 14,975% de representatividade.

Abreviação	Critério	Priorização
FUNC	Funcionalidade	0,311709
HABM	Habilidade do modelador com o <i>software</i>	0,189063
PRCO	Preço	0,149752
COMP	Compatibilidade	0,082214
VEXE	Velocidade de execução do modelo	0,046153
DMOD	Desenvolvimento do modelo	0,044515
ANDS	Análise dos dados de saída	0,040265
ANDE	Análise dos dados de entrada	0,040035
PROG	Programação	0,029579
GREL	Geração de relatórios	0,028761
ANIM	Animações	0,022804
BICO	Biblioteca de Ícones	0,015152

Figura 4.1: Priorização dos critérios.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Agora é calculado o índice de coerência (*IC*) utilizando-se a Equação(2).

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} = \frac{(14,1361 - 12)}{(12 - 1)} = 0,19419$$

Para calcular a razão de coerência (*RC*), é necessário o valor de *IR*, conforme evidenciado na Equação (3). É utilizado o índice de consistência randômico proposto por Saaty (*IR*), da Tabela 4.1. Para o caso atual, os critérios importantes são 12, de modo que o valor do *IR* será 1,53.

$$RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,19419}{1,53} = 0,12692$$

Como uma razão de consistência até 0,20 é aceitável (Saaty e Vargas, 2012), isto significa que os resultados atuais são admissíveis.

Se o valor de *RC* for igual a 0,2, ou menor, implica que a avaliação dentro da matriz é aceitável ou indica um bom nível de coerência nos julgamentos comparativos representados nesta matriz. Em contraste, se o *RC* é maior do que o valor aceitável, conclui-se que ocorreu incoerência de julgamentos dentro dessa matriz e, portanto, o processo de avaliação deve ser revisado, reconsiderado e melhorado. Os julgamentos comparativos devem ser reconsiderados em relação ao Passo 2. O problema também pode ter que ser cuidadosamente reestruturado.

A partir dos resultados obtidos após a priorização de critérios, fica claro que o elemento funcionalidade apresenta maior significância nesta análise. Contudo, têm que se destacar a importância dos fatores habilidade do modelador quanto ao uso da ferramenta e o preço de aquisição do *software*.

O modelo AHP proposto é novamente examinado usando o *software SuperDecisions*. A Tabela 4.4 representa a priorização dos critérios com base na solução de escolha do *software*.

Tabela 4.4: Matriz de priorização de critérios com base na solução de escolha do *software*.

PRCO – $RC = 0,11691$				COMP – $RC = 0,0$				ANIM – $RC = 0,11691$			
	ProModel	Arena	@Risk		ProModel	Arena	@Risk		ProModel	Arena	@Risk
ProModel	1	3	7	ProModel	1	1	3	ProModel	1	3	9
Arena	1/3	1	7	Arena	1	1	3	Arena	1/3	1	9
@Risk	1/7	1/7	1	@Risk	1/3	1/3	1	@Risk	1/9	1/9	1
BICO – $RC = 0,11691$				DMOD – $RC = 0,0$				GREL – $RC = 0,11691$			
	ProModel	Arena	@Risk		ProModel	Arena	@Risk		ProModel	Arena	@Risk
ProModel	1	3	9	ProModel	1	1	9	ProModel	1	3	9
Arena	1/3	1	9	Arena	1	1	9	Arena	1/3	1	9
@Risk	1/9	1/9	1	@Risk	1/9	1/9	1	@Risk	1/9	1/9	1
VEXE – $RC = 0,0$				ANDE – $RC = 0,11691$				FUNC – $RC = 0,0$			
	ProModel	Arena	@Risk		ProModel	Arena	@Risk		ProModel	Arena	@Risk
ProModel	1	1	9	ProModel	1	3	7	ProModel	1	1	9
Arena	1	1	9	Arena	1/3	1	7	Arena	1	1	9
@Risk	1/9	1/9	1	@Risk	1/7	1/7	1	@Risk	1/9	1/9	1
PROG – $RC = 0,0$				ANDS – $RC = 0,06922$				HABM – $RC = 0,12487$			
	ProModel	Arena	@Risk		ProModel	Arena	@Risk		ProModel	Arena	@Risk
ProModel	1	1	7	ProModel	1	3	9	ProModel	1	7	9
Arena	1	1	7	Arena	1/3	1	7	Arena	1/7	1	4
@Risk	1/7	1/7	1	@Risk	1/9	1/7	1	@Risk	1/9	1/4	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 4.2, é demonstrado o desempenho de cada *software* em percentual normalizado com relação a cada fator.

PRCO - VN = 0,14975/ RC = 0,11691			COMP - VN = 0,08221/ RC = 0,00000			ANIM - VN = 0,02280/ RC = 0,11691		
Promodel		0,63299	Promodel		0,42857	Promodel		0,64194
Arena		0,30431	Arena		0,42857	Arena		0,30861
@Risk		0,06270	@Risk		0,14286	@Risk		0,04945
BICO - VN = 0,01515/ RC = 0,11691			DMOD - VN = 0,04451/ RC = 0,00000			GREL - VN = 0,02876/ RC = 0,11691		
Promodel		0,64194	Promodel		0,47368	Promodel		0,64194
Arena		0,30861	Arena		0,47368	Arena		0,30861
@Risk		0,04945	@Risk		0,05263	@Risk		0,04945
VEXE - VN = 0,04615/ RC = 0,00000			ANDE - VN = 0,04003/ RC = 0,11691			FUNC - VN = 0,31171/ RC = 0,00000		
Promodel		0,47368	Promodel		0,63299	Promodel		0,47368
Arena		0,47368	Arena		0,30431	Arena		0,47368
@Risk		0,05263	@Risk		0,06270	@Risk		0,05263
PROG - VN = 0,02958/ RC = 0,00000			ANDS - VN = 0,04027/ RC = 0,06922			HABM - VN = 0,18906/ RC = 0,12487		
Promodel		0,46667	Promodel		0,65536	Promodel		0,77842
Arena		0,46667	Arena		0,28974	Arena		0,16234
@Risk		0,06667	@Risk		0,05490	@Risk		0,05925
VN = vetor normalizado do critério								
RC = razão de coerência da alternativa em relação ao critério								

Figura 4.2: Priorização de fatores com base na solução de escolha do *software*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a priorização de critérios-chave para seleção de *software* de simulação, os pacotes de *software* disponíveis nesta área são avaliados e a técnica AHP é aplicada para testar a prioridade de cada pacote de *software* em comparação com o outro, de acordo com os critérios priorizados. O *software* é classificado usando o método AHP aplicando uma comparação pareada. A priorização do *software* de simulação é realizada inicialmente para cada critério e, em seguida, o efeito geral de todos os critérios importantes é medido utilizando a escolha do pesquisador. A Figura 4.3 descreve claramente o desempenho de cada *software* em relação ao outro, dependendo de todos os critérios ponderados. Conclui-se que o *software* ProModel® é o mais adequado à realização do presente trabalho de pesquisa.

Promodel		0,576156
Arena		0,360339
@Risk		0,063505

Figura 4.3: Desempenho dos *softwares* baseado na ponderação dos critérios.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.7 O *software* de simulação ProModel®

Em seu livro, Bateman *et al.* (2013) destaca o *software* ProModel® como sendo uma ferramenta de simulação e animação projetada para modelar sistemas produtivos de todos os tipos, permitindo ao modelador aprimorar os processos produtivos modelando os elementos com uma lógica de decisão baseado em regras de menor complexidade. Price e Harrel (1999) destacam que, com o ProModel® é possível modelar sistemas

complexos, pois fornece uma aproximação intuitiva e direta à modelagem. É igualmente atrativo aos professores nos programas da engenharia e de negócios, que estão interessados em conceitos de ensino da modelagem e da análise sem ter que ensinar o racional do programa.

De acordo com Bateman *et al.* (2013), o ProModel® possibilita a construção de modelos reais dos sistemas produtivos ou operacionais completos, modelando os elementos, por exemplo, recursos, tempos ociosos das máquinas, posições, entre outros, e possibilita modificar os parâmetros e rotinas reais, modelando situações ou cenários especiais.

Para aqueles que preferem criar uma lógica complexa usando uma linguagem de programação, como por exemplo, C, Pascal ou sub-rotinas básicas, Dunna *et al.* (2006) salienta que isto é possível podendo interligar dinamicamente esta lógica de programação em qualquer etapa ou lugar dentro do modelo no tempo de execução. Desta maneira, o ProModel® permite que os analistas de sistemas e os peritos de simulação usem as ferramentas que são as mais confortáveis fornecendo a flexibilidade total.

O *software* ProModel® também fornece diversas funções de distribuição internas, conjugando os roteiros, valores aleatórios do modelo, de acordo com uma distribuição estatística. Para ajudar o usuário na seleção de uma distribuição probabilística apropriada para uma série de dados, o *software* Stat::Fit® é incluído ao ProModel®. O Stat::Fit® é um *software* de ajuste de curva atribuindo encaixe das distribuições analíticas aos dados de usuário (Price e Harrel, 1999).

Segundo Benson (1997), no ProModel®, o desenvolvimento do modelo gráfico é completamente orientado ao objeto. Na medida do possível, toda a entrada é fornecida graficamente com a informação que está sendo agrupada pelo tipo de objeto e apresentada em planilhas com formato para o acesso rápido e intuitivo. Price e Harrel (1999) destacam um exemplo em que, quando o modelador define uma máquina ele pode igualmente definir o ícone da máquina, a capacidade, as características do tempo ocioso da máquina, as regras de entrada e de saída e as estatísticas desejadas da saída.

Prince e Harrel (1999) afirmam que o ProModel® cumpre com os padrões gráficos de interface de usuários. Isto significa que os indivíduos familiarizados com outros programas padrão Microsoft Windows®, tais como programas de tratamentos de textos ou de planilhas não terão nenhum problema em aprender a como utilizar o ProModel®. A semelhança quanto à entrada dos dados minimiza a curva de aprendizagem para os novos usuários e maximiza a eficiência para modificar grandes e complexos modelos.

Harrell *et al.* (2011) ressaltam que, a documentação, tutoriais e demais informações estão disponíveis *online* com o sistema de ajuda do ProModel®. O sistema de ajuda do ProModel® é similar ao sistema de ajuda do Microsoft Windows®, o que facilita o entendimento quanto às descrições das sintaxes de comando dos módulos de construção

do modelo. O ProModel® fornece cursos que contêm lições rápidas em como construir modelos, o funcionamento do modelo, acesso dos relatórios de saída e em como modelar várias aplicações com o *software*.

Para reduzir o tempo de desenvolvimento do modelo, o ProModel® possibilita que tal modelo seja mesclado a outros, permitindo que diversos indivíduos trabalhem separadamente em etapas diferentes de um modelo maior.

O desenvolvimento da animação é integrado com a definição do modelo. Um dos principais inconvenientes de muitos *softwares* de simulação é o fato de que o desenvolvimento da animação é independente do desenvolvimento do modelo da simulação, tornando a integração entre animação e simulação uma atividade complexa e demorada, demandando o uso de ferramentas para a validação/verificação quanto à integração. Segundo Baird e Leavy (1994), o ProModel® integra a definição de sistema e o desenvolvimento da animação em uma única função. Ao definir distribuindo posições, transportes, trajetos dos recursos e/ou entidades, e outros elementos, o usuário desenvolve essencialmente a disposição da animação. A tela da disposição é uma tela virtual que possibilita ser escalada a uma disposição real da fábrica.

Os resultados da simulação são informativos e podem ser indicados em um formulário tabular ou em gráfico. Harrell *et al* (2011) reforçam que, outros *softwares* de simulação exigem comandos especiais para a geração das estatísticas e que apresentam elevado grau de complexidade em serem interpretados por não especialistas em simulação. O ProModel® permite a seleção diversificada de relatórios, fornecendo relatórios tabulados e/ ou em gráficos automáticos contemplando todas as medidas de desempenho do sistema. Os relatórios de saída dos elementos da simulação proporcionam a comparação entre os dados e os elementos no gráfico.

Quanto ao ProModel®, Ramírez-Granados *et al.* (2014) apresentam as seguintes características:

- Principais aplicações: Manufatura e Logística de Armazenagem;
- Características: Criar modelos baseados em estatísticas, animações instantâneas e em 3D disponíveis, interface personalizada, modelos baseados em programas *six-sigma* e modelos criptografados;
- Lógica: Os modelos são construídos por meio da definição de rotas para o fluxo dos processos e elementos, definindo os parâmetros de simulação de todas as entidades e recursos.

4.8 Considerações finais

Neste Capítulo, realizou-se a seleção do *software* de SED que fora utilizado para o desenvolvimento e alcance dos objetivos estabelecidos neste trabalho de pesquisa. Para tanto, foi utilizada a técnica AHP no qual, por meio desta, conclui-se que o *software*

ProModel® é a ferramenta escolhida para a realização do experimento de SED, enquanto o *software* @Risk® é o menos preferido nesta análise.

No próximo Capítulo, será tratada a caracterização dos procedimentos metodológicos de um estudo envolvendo a modelagem e SED. Esta etapa é necessária para auxiliar na realização deste trabalho de pesquisa. Serão demonstrados os passos que deverão ser seguidos para assegurar o rigor científico necessário para garantir o adequado alcance dos objetivos deste estudo.

5. ETAPAS DE UM ESTUDO DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

No Capítulo anterior, foi abordado o processo de seleção do *software* de SED que foi aplicado nas etapas de experimento durante o desenvolvimento deste trabalho. Ficou evidenciado que o modelo do sistema produtivo estudado será construído em uma forma na qual os computadores possam entender, e, portanto, permitir a realização do experimento, obtendo os dados de saída que irão responder as questões impostas neste trabalho de pesquisa. Contudo, também é importante conhecer o *modus operandi* de um estudo envolvendo a SED.

Objetiva-se, então, neste Capítulo, realizar uma abordagem sobre as etapas de um estudo envolvendo a modelagem e a SED. Assim sendo, este Capítulo apresenta uma pesquisa sobre um conjunto de métodos de modelagem e SED. Essa pesquisa tem como principal objetivo a geração de conhecimento sobre o processo de modelagem e SED para a elaboração de um método operacional elementar capaz de subsidiar a realização do experimento e aderente ao objetivo deste trabalho de pesquisa.

5.1 Condições de contorno acerca do método da pesquisa

A construção desta Seção parte de uma pesquisa bibliográfica acerca dos métodos envolvendo a SED. Como proposição final, é realizada a análise de vários métodos para a determinação de um método único, no qual serão acrescentadas as particularidades necessárias ao alcance dos objetivos deste trabalho. A elaboração deste modelo favorecerá a expansão acerca do entendimento do sistema em estudo, com a expectativa de adaptação das múltiplas compreensões e dos diversos níveis de complexidade para o desenvolvimento deste sistema. As vantagens obtidas acerca de um modelo adaptado são decorrentes da aplicação dos elementos *software*, modelador e usuário em decorrência da sistematização, permitindo mitigar desperdícios de tempo e de recursos financeiros.

5.2 Métodos de SED

A simulação pode ser considerada como a emulação do comportamento de um sistema do mundo real ao longo de um intervalo de tempo (Harrel *et al.*, 2000; Shannon, 1975). O processo de simulação baseia-se na geração da história de um sistema e, em seguida, analisa essa história para prever o resultado e melhorar o funcionamento dos sistemas reais. As simulações podem ser de vários tipos, contudo esta seção aborda exclusivamente a SED, que modela o sistema como uma sequência discreta de eventos no tempo.

Page (1994) salienta que, pelo menos até o final da década de 1970, os métodos de simulação não eram realmente tidos como um típico estudo de simulação. Esses métodos poderiam ser facilmente descritos como uma análise de sistemas, utilizando um único modelo gerado por um pequeno grupo de modeladores, analistas, usuários e tomadores de decisão. Isso já não é mais válido. Os estudos de SED compreendem a elaboração de vários modelos, sendo realizados em diferentes plataformas de

computador. Esses estudos envolvem, diretamente ou indiretamente, um grande número de pessoas, podendo até mesmo estender para além dos limites tradicionais de uma organização.

O uso da SED torna-se relevante em decorrência do fato de que sua correta aplicação permite mitigar falhas em um sistema a partir de uma determinada mudança. Novas mudanças, procedimentos, fluxos de informação entre outros elementos podem ser analisados sem a interrupção do funcionamento do sistema real. Portanto, o desenvolvimento de um modelo de simulação possui a função de proporcionar a análise do funcionamento de um sistema à medida que este sistema evolui ao longo do tempo.

Um estudo de SED pode responder a uma variedade de questões sobre sistemas reais desde que seja construído seguindo rigorosamente etapas relativas ao desenvolvimento e a validação do modelo. Assim, o desenvolvimento de um estudo envolvendo a SED requer a realização de uma sequência de etapas que concorrem para o alcance dos objetivos de tal estudo. Chwif e Medina (2015) afirmam que um estudo de SED envolve a realização de três etapas que são: concepção, implementação e análise.

Tal como Chwif e Medina (2015), e tendo como base a estrutura proposta por eles, Montevechi *et al.* (2010) também estratifica um estudo de SED nas mesmas três etapas. Contudo, os autores ilustram tais etapas por meio de um fluxograma, detalhando os passos lógicos que estão compostos em um projeto de simulação. Em decorrência ao nível de detalhamento proposto por Montevechi *et al.* (2010), pode-se encontrar a aplicação de seu método em diversos trabalhos, tais como: Maciel (2013), Maciel *et al.* (2012), Queiroz *et al.* (2012), Rodrigues *et al.* (2012).

Silva (2005) acentua os conceitos acerca das metodologias de SED destacando que tais métodos permitem a sistematização das etapas para o desenvolvimento do estudo, permitindo maximizar a integração entre os três elementos fundamentais em um projeto de simulação, que são: o *software*; o modelador; e o usuário. O alinhamento entre estes três elementos permite a obtenção de economias de recursos financeiros e o ganho em tempo de execução e, por conseguinte, diminui os riscos acerca do alcance de resultados frustrantes.

Já Costa (2010) ao analisar diversos trabalhos de pesquisa utilizando a SED concluiu que muitos dos métodos propostos apresentam substancial similaridade com o arcabouço prescrito no trabalho de Mitroff *et al.* (1974), citando, dentre os diversos trabalhos, o realizado por Chwif e Medina (2010). No entanto, apesar de haver um consenso entre os métodos apresentados, não há uma uniformidade na realização das etapas a serem seguidas, permitindo a existência de potenciais lacunas dentro do modelo, dependendo da aplicabilidade do método ou da complexidade do sistema.

Para verificar se realmente há a existência de lacunas a serem preenchidas entre os métodos e, portanto, se alcançar uma aderência sustentável entre os métodos propostos e os objetivos do presente trabalho de pesquisa, realizou-se uma análise comparativa entre

algumas das metodologias existentes na literatura, no que tange as etapas a serem realizadas e a sua sequência. Por meio do Quadro 5.1, é apresentado um comparativo dos métodos de SED apresentados por Chwif e Medina (2015), Montevechi *et al.* (2010), Bressan (2002), Banks (2001), Kelton e Law (2000), Pidd (1998), Lobão e Porto (1997), Maria (1997), Bennett (1995) e Shannon (1975).

Quadro 5.1: Comparativo dos métodos de SED.

AUTOR ETAPAS	Chwif e Medina (2015)	Monteve- chi <i>et al.</i> (2010)	Bressan (2002)	Banks (2001)	Kelton e Law (2000)	Pidd (1998)	Lobão e Porto (1997)	Maria (1997)	Bennett (1995)	Shannon (1975)
Identificação/ Formulação do problema			X	X*	X	X	X	X		X
Planejamento do estudo			X	X*	X					X
Definição dos objetivos	X	X		X			X			X
Definição do sistema	X	X								
Coleta dos dados	X		X	X	X		X	X		X
Formulação/ Desenvolvi- mento do mo- delo conceitual	X	X	X	X	X	X	X**		X	X
Validação do modelo con- ceitual		X	X		X					X
Documentação do modelo conceitual		X								
Escolher a ferramenta de simulação			X							
Desenvolvi- mento do mo- delo computa- cional	X	X	X	X***	X	X	X	X	X	X
Verificação do modelo com- putacional	X	X		X					X	X
Validação do modelo com- putacional	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Documenta o modelo para uso futuro								X		

Quadro 5.1: Comparativo dos métodos de SED.

AUTOR ETAPAS	Chwif e Medina (2015)	Montevichi <i>et al.</i> (2010)	Bressan (2002)	Banks (2001)	Kelton e Law (2000)	Pidd (1998)	Lobão e Porto (1997)	Maria (1997)	Bennett (1995)	Shannon (1975)
Planejamento do experimento/ Desenvolvimento do desenho		X	X	X	X		X	X		X
Execução da simulação/ Experimento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Análise dos resultados/ Estatística	X	X	X	X	X			X		X
Refinamento				X			X			
Replicação do experimento				X						
Documentação e elaboração do relatório do experimento/ Conclusões e recomendações	X	X	X	X	X		X	X	X	
Implementação				X		X	X			

* Banks (1998) define esta etapa como sendo um “Planejamento geral” inserido em uma única etapa junto com a “Formulação do problema”;

** Lobão e Porto (1997) dão à etapa de “Desenvolvimento do modelo conceitual” a denominação de “Esboço”;

*** Banks (1998) denomina esta etapa como “Tradução do modelo” no qual diz respeito à realização da codificação do modelo conceitual no *software* de simulação criando o modelo computacional/ operacional.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos dados comparativos expostos no Quadro 5.1, pode-se observar que há similaridades entre os métodos propostos, principalmente acerca das etapas de verificação e de validação dos modelos conceituais e computacionais, e também acerca da sequência de execução das etapas. Todavia, nota-se também que realmente há uma diferença entre o arcabouço destes métodos. Verifica-se que todas as etapas apresentadas no Quadro 5.1 são importantes e que nenhuma delas deve ser ignorada, mesmo não sendo explicitada por todos os autores simultaneamente.

Portanto, fez-se necessário alcançar um entendimento sobre cada etapa dos métodos propostos, permitindo avaliar a sua aplicabilidade e a sua importância para então ser possível formular uma estrutura adaptada de um método que pudesse alcançar a aderência à resolução dos problemas apresentados neste trabalho de pesquisa. Também é importante obter um discernimento sobre a correta sequência da execução destas etapas, nas quais foi realizada seguindo uma lógica sistematizada em que cada etapa complementou a etapa anterior e serviu de alicerce a etapa seguinte.

5.3 Entendimento conceitual sobre as etapas e a sequência de execução

A partir do entendimento conceitual e da avaliação sobre a importância da execução em cadeia das etapas apresentadas no Quadro 5.1, permitiu-se elaborar um método adaptado que proporciona a aderência necessária à execução deste trabalho de pesquisa. A aplicação deste método tem por objetivo garantir o rigor científico, por meio das validações necessárias, e a relevância contextual em consequência da qualidade dos resultados obtidos e dos julgamentos documentados no formato de conclusão ao final do estudo. Para tanto, conforme proposto por Chwif e Medina (2015) e por Montevechi *et al.* (2010), esta pesquisa será estruturada em três fases, conforme ilustrado por meio da Figura 5.1, que são: concepção, desenvolvimento e análise.

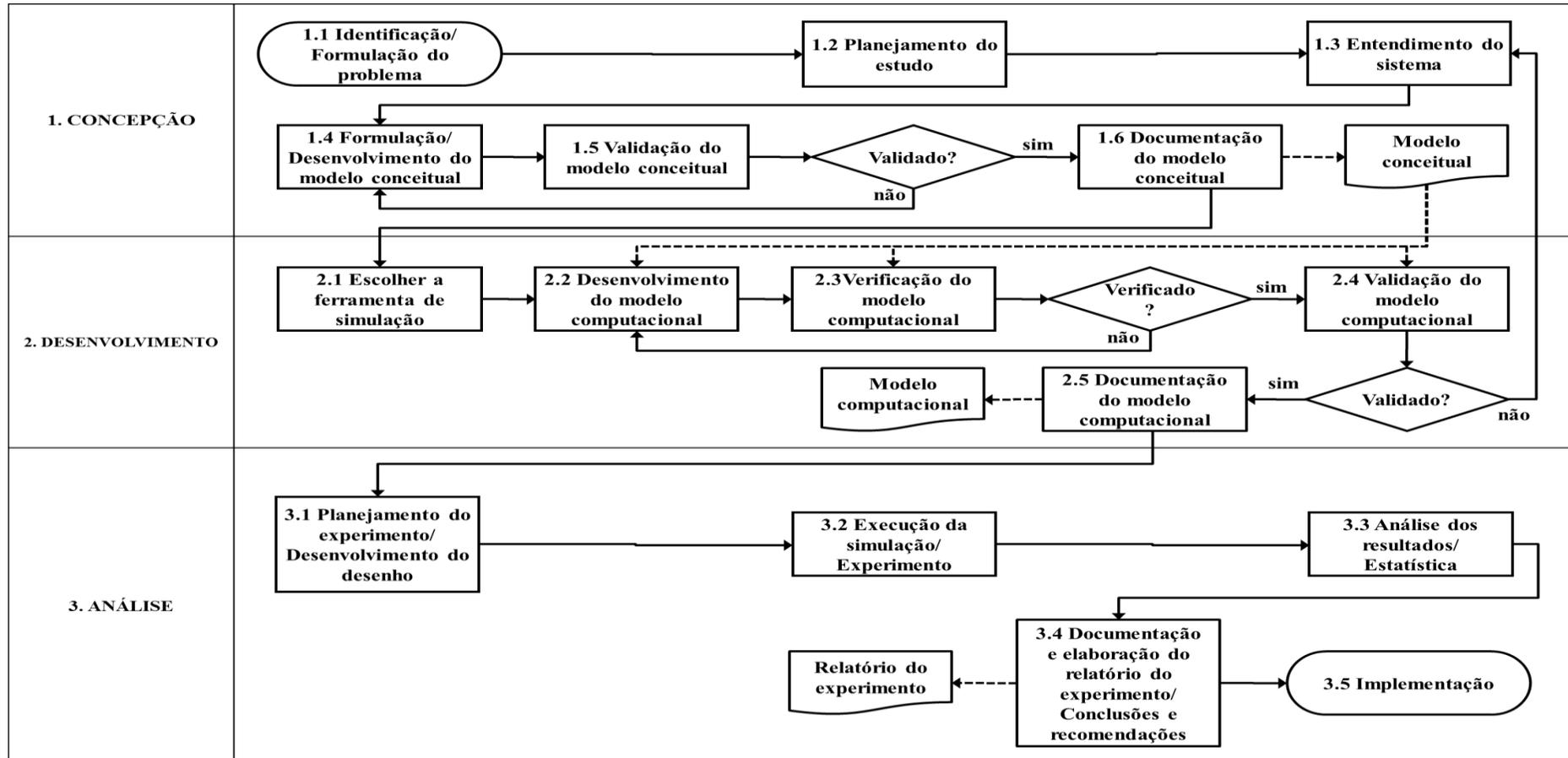


Figura 5.1: Método para estudo com SED.

Fonte: Adaptado de Banks (2001), Kelton e Law (2000), Chwif e Medina (2015), Montevechi *et al.* (2010), Shannon (1975), Lobão e Porto (1997), Maria (1997), Bressan (2002), Pidd (1998) e Bennett (1995).

5.3.1 Etapa 1.1 – Identificação/ Formulação do problema

Antes de tentar resolver um problema, é necessário primeiro formular o problema para que ele seja claramente compreendido (Kelton e Law, 2000). Banks (1998) salienta que é importante que a declaração do problema seja compreensível e que expresse com clareza as inquietações que representam a relevância, tanto acadêmica quanto empresarial, do estudo envolvendo a SED. Portanto, em um trabalho de pesquisa, a formulação de uma expressão sucinta do problema permite nortear um planejamento racional do estudo e elucidar a criação dos objetivos e, principalmente, as delimitações da pesquisa acerca destes objetivos.

5.3.2 Etapa 1.2 – Planejamento do estudo

Após a declaração do problema claramente formulada, faz-se necessário realizar o planejamento e a organização do estudo. Esta etapa envolve a definição dos objetivos que precisam ser estabelecidos, o dimensionamento e a alocação adequada dos recursos que serão necessários e consumidos durante a pesquisa. Segundo Montevechi *et al.* (2010), os objetivos em um estudo de SED são importantes porque especificam as perguntas a serem respondidas pela simulação. E dependendo dos objetivos, deve-se analisar se a simulação será de fato a técnica apropriada para a solução do problema em questão.

5.3.3 Etapa 1.3 – Entendimento do sistema

Definido o planejamento e a organização do estudo, o próximo passo é realizar a identificação dos elementos do sistema. Chwif e Medina (2015) conceituam a simulação como sendo a imitação da operação de um processo ou sistema do mundo real ao longo do tempo. Portanto, segundo estes mesmos autores, esta etapa envolve a identificação dos componentes do sistema do mundo real a serem modelados e as medidas de desempenho a serem analisadas. Como o ato de simular algo requer que um modelo seja desenvolvido, é importante conhecer profundamente o sistema a ser modelado.

Nesta Etapa, é realizada uma pesquisa minuciosa sobre o objeto de pesquisa, por meio de visita nas unidades, observando e realizando anotações sobre o funcionamento do sistema e, também, por meio da pesquisa documental disponibilizada. Robinson (2013) destaca a necessidade da realização da coleta de dados do sistema, no qual, Banks (1998) afirma que, nesta Etapa, é necessário analisar com profundidade o sistema atual e verificar quais informações são relevantes para a construção do modelo.

Durante a coleta dos dados, é imprescindível o levantamento minucioso das informações, tais como: taxa de chegada, processo de chegada, disciplina de serviço, taxa de serviço, entre outros elementos que compõe o sistema e que irão alimentar o modelo de simulação. Os dados coletados precisam ser ajustados às distribuições teóricas, como a taxa de chegada de uma peça na fábrica pode seguir uma curva de distribuição probabilística triangular.

Os estudos envolvendo métodos de simulação exigem elevada qualidade dos dados de entrada. Assim, a coleta de dados é uma etapa importante e consome uma quantidade extensa de tempo. À medida que a complexidade do modelo muda, os elementos de dados necessários também podem mudar (Chwif e Medina, 2015). Portanto, a realização desta pesquisa conduz a um entendimento sobre o funcionamento do sistema a ser modelado, permitindo evoluir para a próxima Etapa do estudo que é a concepção do modelo conceitual.

5.3.4 Etapa 1.4 – Formulação/ Desenvolvimento do modelo conceitual

Após a coleta dos dados, é necessário desenvolver a modelagem conceitual. Robinson (2013) ressalta que a modelagem conceitual é a abstração do modelo de simulação de um sistema real. Segundo Robinson (2013), a abstração enfatiza a necessidade de simplificação do sistema real e de suposições sobre o que é desconhecido sobre os sistemas reais. Mais formalmente, a modelagem conceitual pode ser descrita como uma elucidação do modelo de simulação computacional, não específico de um *software*, descrevendo os objetivos, insumos, *outputs*, conteúdos, suposições e simplificações do modelo (Sargent, 2013). No entanto, Liu *et al.* (2011) salientam que a complexidade do modelo não deve exceder o necessário para cumprir a sua finalidade.

Mais formalmente, define-se um modelo conceitual da seguinte forma:

“... uma abstração conceitual do sistema, com crescentes níveis de detalhes adicionados enquanto o modelo se desenvolve.” (Bateman *et al.*, 2013).

Para entender ainda mais a modelagem conceitual, Robinson (2011) destaca a utilidade em colocá-la dentro do contexto mais amplo do processo de modelagem de simulação. A Figura 5.2 ilustra os principais artefatos da modelagem conceitual. Segundo Robinson (2011), a “nuvem” representa o mundo real, atual ou futuro, no qual reside a situação problemática. Este é o problema que é a base para o estudo de simulação. Os quatro retângulos representam os artefatos específicos do modelo conceitual, que são os seguintes:

- Descrição do sistema: a descrição da situação problema e os elementos do mundo real que se relacionam com o problema;
- Modelo conceitual: conforme definido por Bateman *et al.* (2013);
- Desenho do modelo: o desenho dos elementos para o modelo conceitual em computador, tais como os dados coletados e outros elementos do modelo (Fishwick, 1995);
- Modelo conceitual em computador: uma representação específica do modelo conceitual feito em um *software* de modelagem de processos. No caso do presente estudo, foi utilizada a técnica IDEF-SIM por meio do *software* DIA®.

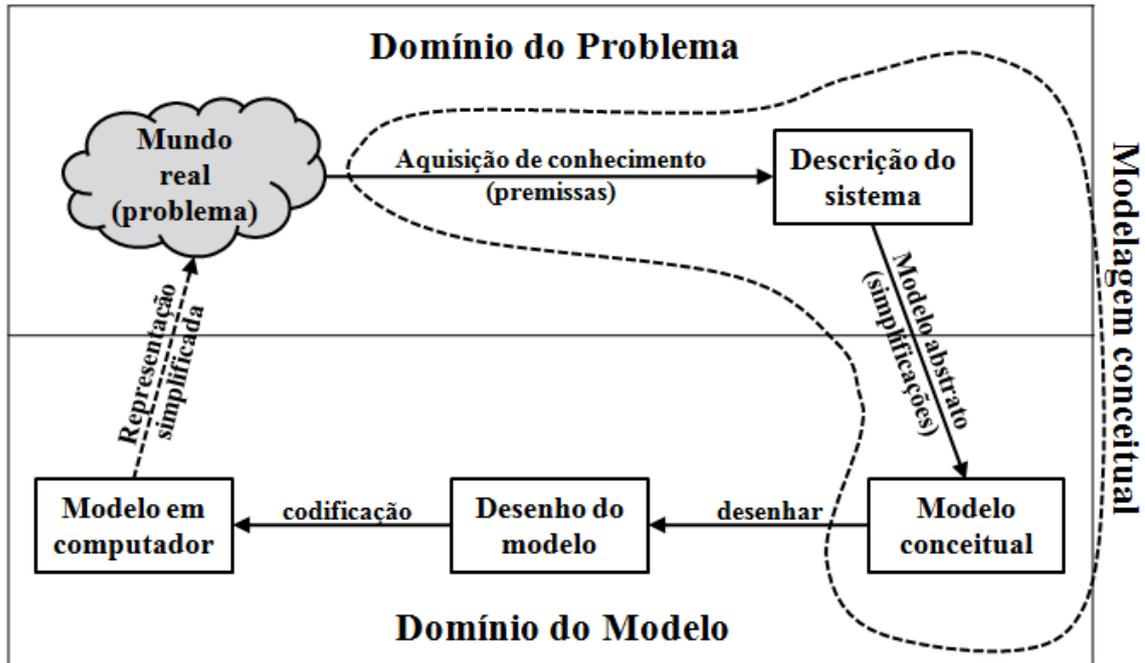


Figura 5.2: Artefatos da modelagem conceitual.

Fonte: Adaptado de Robinson (2011).

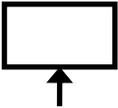
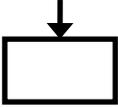
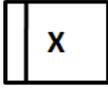
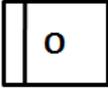
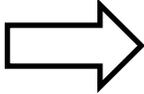
Uma das diversas formas para a construção do modelo conceitual é a elaboração de fluxogramas para o mapeamento dos processos e, portanto, do sistema em estudo. Para Barnes (1986), o fluxograma do processo é uma técnica utilizada para auxiliar o mapeamento ilustrativo do processo, permitindo uma fácil visualização e entendimento das etapas inerentes ao processo mapeado. Neste sentido, um fluxograma pode ilustrar um processo fabril iniciando-se com a entrada da matéria-prima na fábrica, seguindo o caminho da fabricação do produto por meio das operações de transformação, movimentação dos materiais e inspeção até a saída do produto-acabado disponível para comercialização.

De acordo com Bateman *et al.* (2013), poucas são as técnicas de modelagem de processos utilizadas em *Business Process Modeling* (BPM) que possuem a aderência necessária a um projeto de simulação. Neste sentido, dada à importância da fase de modelagem conceitual, neste trabalho de pesquisa, será utilizada uma técnica que tenha seu foco na simulação conhecida como IDEF-SIM. Neste contexto, Leal *et al.* (2008) destaca a aplicabilidade da técnica IDEF-SIM, que possui como objetivo permitir a construção de modelos conceituais com informações úteis ao modelo computacional, facilitando a documentação do modelo e o entendimento acerca do projeto.

O IDEF-SIM utiliza a combinação de características de outras duas técnicas de modelagem de processos em BPM consagradas, que são o IDEF0 e o IDEF3 (Bateman *et al.*, 2013; Leal *et al.*, 2008). Os benefícios desta técnica incluem: (a) diminuição do tempo atribuído à construção do modelo computacional; (b) facilitação quanto à validação do modelo conceitual junto aos especialistas; (c) permite documentar o projeto, ilustrando as lógicas do sistema

modelado; e (d) facilita o entendimento do modelo conceitual por parte dos leitores do projeto. O Quadro 5.2 apresenta os elementos e a simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM.

Quadro 5.2: Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM.

Elementos	Simbologia	Técnica de origem	Funções
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)	Itens que serão processados pelo sistema. Podem representar produtos, materiais, pessoas, entre outros.
Funções		IDEF0	Ilustra os locais nos quais a entidade sofrerá uma ação. No geral, as funções são os postos de trabalho, estoques, entre outros.
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3	Direcionamento da entidade no modelo, referenciando os momentos de entrada e os momentos de saída de entidades das funções.
Recursos		IDEF0	São os elementos utilizados para movimentar as entidades e executar as funções. Os recursos podem representar pessoas ou equipamentos.
Controles		IDEF0	São regras utilizadas nas funções, como sequenciamento, regras de filas, programações, entre outros. Servem para definir as diretrizes das ações às quais as entidades serão submetidas.
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 Regra E	IDEF3	Estas regras são chamadas de junções, na técnica IDEF3. O objetivo desses blocos é fornecer uma relação lógica que pode ser aplicada logo após uma função. Após uma função ser realizada, mais de um caminho pode ser tomado e, nestes casos, as regras lógicas E, OU, e E/OU devem ser aplicadas.
	 Regra OU		
	 Regra E/OU		
Movimentação		Fluxograma	Representa o deslocamento da entidade, no qual o modelador acredita possuir efeito importante sobre o modelo. Ao representar este estado, espera-se na implementação computacional uma programação específica que forneça um detalhamento de dados, como tempo gasto na movimentação e recursos utilizados.

Quadro 5.2: Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM.

Elementos	Simbologia	Técnica de origem	Funções
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3	Serve para inserir uma explicação no modelo, 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			Define o final de um caminho dentro do fluxo modelado. Tudo o que se encontra além deste ponto está fora dos limites do modelo.
Conexão com outra figura			Utilizado para dividir o modelo em figuras diferentes permitindo uma fácil visualização do sequenciamento entre os modelos.

Fonte: Adaptado de Leal *et al.* (2008).

Além do mapeamento do fluxo dos processos, durante a elaboração do modelo conceitual também é realizada a descrição dos tempos, estocásticos ou não, de execução das operações e das lógicas de movimento do sistema. Também são apresentados os detalhamentos acerca dos valores inerentes aos custos e preços dos materiais e produtos. Tais elementos completam o modelo conceitual, pois agregam ao mapeamento dos processos as informações que não estão contempladas na ilustração do fluxograma em decorrência de sua limitação física de espaço textual.

5.3.5 Etapa 1.5 – Validação do modelo conceitual

Após o desenvolvimento do modelo conceitual, deve-se realizar a validação do modelo conceitual. Sargent (2013) salienta que a validação do modelo conceitual refere-se ao processo de garantir que o modelo esteja livre de erros lógicos. Esta Etapa tem como objetivo final produzir um modelo conceitual preciso e confiável. A validação do modelo conceitual começa depois que as especificações do sistema foram mapeadas e o desenvolvimento do modelo inicial foi concluído. Segundo Montevechi *et al.* (2000), a validação é um processo iterativo e que ocorre ao longo do desenvolvimento de um modelo.

Sargent (2013) define a validação do modelo conceitual como uma etapa que tem como objetivo verificar se as teorias e os pressupostos subjacentes ao modelo conceitual são consistentes com as teorias do sistema analisado e que a representação do sistema é suficiente para a finalidade pretendida do modelo de simulação. Sargent (2013) também apresenta as técnicas de validação pontuando as características e as aplicabilidades de cada uma destas técnicas, ressaltando que elas podem ser usadas subjetivamente ou objetivamente. Por “objetivamente”, Sargent (2013) caracteriza como sendo uma técnica que utiliza um

determinado tipo de procedimento matemático ou teste estatístico, por exemplo, testes de hipóteses ou intervalos de confiança.

Sargent (2013) destaca que as principais técnicas de validação utilizadas para estas avaliações são: validação de face e validação de traços. Técnicas estas que foram utilizadas na etapa de validação do modelo conceitual durante a realização deste trabalho de pesquisa. De acordo com Sargent (2013), a técnica validação de face requer que os indivíduos com conhecimento sobre o sistema sejam questionados sobre se o modelo conceitual representa, com certa razoabilidade, o sistema real. Já o uso da técnica de validação de traços é a realização do rastreamento dos comportamentos das entidades no modelo para determinar se a lógica do modelo está correta e se a precisão necessária será obtida (Sargent, 2013). Se forem encontrados erros no modelo conceitual, deve-se revisar o modelo e a validação do modelo conceitual deverá ser realizada novamente.

5.3.6 Etapa 1.6 – Documentação do modelo conceitual

Tendo validado o modelo conceitual, o próximo passo é a realização da documentação deste modelo. A documentação do modelo conceitual tem os propósitos de auxiliar na realização da tradução do modelo conceitual em um modelo computacional e também serve como um instrumento facilitador na verificação e na validação do modelo computacional (Montevechi *et al.*, 2010). Segundo Sargent (2013), realizar a documentação detalhada do modelo conceitual deve incluir não apenas o mapeamento dos fluxos de processos, mas também incluir detalhes sobre os testes, avaliações efetuadas, os dados utilizados como parâmetros, a tabela de avaliação da validade do modelo e os resultados.

5.3.7 Etapa 2.1 – Escolher a ferramenta de simulação

Ao fim da construção da documentação do modelo conceitual, já na fase de desenvolvimento, é o momento de definir a ferramenta de modelagem e simulação computacional. Segundo Sakurada e Miyake (2009), existe uma extensa variedade de *softwares* de modelagem e simulação computacional disponíveis no mercado, e isto se confirma conforme apresentado na Seção 3.3. No entanto, alguns destes *softwares* possuem a sua aplicabilidade específica à modelagem e simulação de sistemas produtivos, enquanto que outros *softwares* possuem o caráter mais generalista favorecendo a simulação de uma forma geral. Assim, se faz concluir que nem todos os *softwares* possuem as mesmas características e, portanto, alguns destes podem não possuir aderência quanto aos objetivos do presente estudo.

Neste sentido, Chwif e Medina (2015) destacam a importância da adequada seleção do *software*, pois impacta diretamente no sucesso do estudo de modelagem e simulação. Já Bressan (2002) ressalta que a correta seleção do *software* de simulação possui forte influência no tempo de realização do estudo de simulação. Isto permite entender que, não apenas é necessário realizar a escolha do *software*, mas também fazê-lo utilizando uma técnica adequada e que faça a correta ponderação entre os critérios que influenciam no sucesso do

desenvolvimento da pesquisa. E aqui se faz definir que sucesso significa atingir com êxito os objetivos da pesquisa.

Para tanto, Banks (1998) salienta a importância em se estabelecer os critérios que são relevantes, dependendo dos objetivos e das características do estudo de simulação. Neste sentido, no Capítulo 4, é demonstrado os critérios que foram abordados e utilizados como elementos para a seleção do *software* de simulação e, a partir da aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), apresentado na Seção 4.6, pode-se definir o *software* adequado e que foi aplicado ao presente estudo.

5.3.8 Etapa 2.2 – Desenvolvimento do modelo computacional

Após definida a ferramenta de simulação, deve-se realizar a tradução do modelo conceitual em um modelo computacional. Esta Etapa consiste em traduzir o modelo conceitual em um formato reconhecível por computador. É possível que o resultado possa ser alcançado com pouca ou nenhuma codificação dependendo do modelo (Banks, 1998). Normalmente, o modelador pode programar o modelo usando uma linguagem de programação de simulação ou usar um *software* de simulação de propósito especial. Montevechi *et al.* (2010) salienta que a utilização de *softwares* de simulação pode reduzir drasticamente o esforço, mas que nem sempre é possível realizar a modelagem computacional com qualquer *software* de simulação.

5.3.9 Etapa 2.3 – Verificação do modelo computacional

Segundo Montevechi *et al.* (2010), a verificação envolve em responder se o modelo computacional foi construído corretamente, e, portanto, se está atendendo aos requisitos e funcionalidades registrados na documentação do modelo computacional. É uma comprovação, através de evidências objetivas, de que os requisitos especificados foram atendidos, permitindo prever falhas ou inconsistência entre os requisitos.

É importante destacar a diferença entre verificação e validação. Sargent (2013) destaca as diferenças entre as etapas de verificação e de validação, ressaltando que, a verificação é a confirmação de que o modelo traduz o sistema conforme as especificações planejadas para o sistema. Já a validação envolve em realizar o teste para evidenciar se o modelo construído realmente irá atender ao propósito desejado.

Tendo constituído o modelo computacional do sistema real, é necessário realizar a verificação para garantir que o modelo desenvolvido durante a tradução esteja de acordo com os requisitos e especificações de desenvolvimento. A verificação requer uma grande quantidade de depuração. A verificação pode ser considerada aceitável quando a estrutura lógica do modelo está corretamente representada no computador (Sargent, 2013).

5.3.10 Etapa 2.4 – Validação do modelo computacional

A validação é realizada para garantir que o modelo realmente satisfaça as necessidades da simulação e que as premissas sejam corretamente inseridas na modelagem computacional.

Chwif e Medina (2015) afirmam que a validação é feita comparando o modelo com o sistema atual e depois melhorando o modelo usando as discrepâncias. Este processo é repetido até que a precisão do modelo seja considerada aceitável.

5.3.11 Etapa 2.5 – Documentação do modelo computacional

Após a validação do modelo computacional, é necessário documentar os parâmetros deste modelo. Segundo Maria (1997), a documentação dos parâmetros permite a replicação do modelo em outros momentos, para outros fins que se façam necessária. É um arcabouço que constitui a estrutura do sistema modelado em uma linguagem adaptada ao *software* de simulação, e que é elaborado como um passo a passo retratando o roteiro lógico ao qual foi construída a modelagem computacional.

5.3.12 Etapa 3.1 – Planejamento do experimento/ Desenvolvimento do desenho

Os modelos de simulação podem possuir diversos fatores de entrada e, pode ser uma tarefa com um elevado grau de complexidade, determinar os fatores que possuem os impactos mais significativos sobre as medidas de desempenho do sistema (Banks, 1998). O desenho experimental, na fase de Análise, é uma Etapa utilizada para determinar quais realmente são os fatores que possuem o maior efeito acerca das respostas do sistema (Kelton e Law, 2000). Portanto, as perguntas certas acerca do sistema devem ser feitas para que se obtenham as respostas apropriadas. Deve-se possuir um elevado grau de conhecimento acerca do sistema modelado, possibilitando a realização de uma modelagem que permita a realização adequada do experimento de simulação (Montevecchi *et al.*, 2010).

5.3.13 Etapa 3.2 – Execução da simulação/ Experimento

Após o desenvolvimento do desenho experimental, deve-se iniciar o experimento de simulação e obter os resultados. Segundo Montevecchi *et al.* (2010), para uma coleta de dados representativa acerca do experimento, o modelo deve permanecer em execução por um determinado período de tempo, assim, é possível obter resultados confiáveis. Quando ocorrerem dúvidas acerca do funcionamento do sistema ou dos resultados obtidos, deve-se executar a simulação tantas vezes quantas forem necessárias. Afinal, é esta a razão da simulação (Chwif e Medina, 2015). Nesta Etapa, ainda é possível realizar algumas mudanças no modelo para verificar como ele se comporta, permitindo avaliar outras possibilidades.

5.3.14 Etapa 3.3 – Análise dos resultados/ Estatística

Nesta Etapa, segundo Chwif e Medina (2015), o objetivo principal será o de minimizar os erros relacionados ao processo de inferência, pois os modelos apresentam um comportamento estocástico, à semelhança dos sistemas que estão imitando. De acordo com Bateman *et al.* (2013), a análise dos resultados da simulação é um procedimento que se inicia com a seleção das variáveis de desempenho nos quais se deseja avaliar no sistema, inferindo acerca dos resultados com base nas análises estatísticas apropriadas.

Neste presente estudo, foi utilizado o *software Output Viewer*® que é um módulo incluso no pacote do *software ProModel*® e que permite visualizar os dados gerados no experimento de simulação executado com o ProModel®. Os dados numéricos são plotados em formato de planilha ou graficamente em uma variedade de gráficos, permitindo, justamente, a análise do comportamento estocástico do sistema e a avaliação das variáveis de desempenho objetos do presente estudo.

5.3.15 Etapa 3.4 – Documentação do relatório do experimento/Conclusões

Ao final da realização do experimento de simulação, deve-se elaborar o relatório final contendo o resultado e a análise sucinta do experimento para servir de instrumento aos usuários na revisão da formulação final e na comparação dos resultados do sistema (Banks, 2001; Kelton e Law, 2000; Chwif e Medina, 2015; Montevechi *et al.*, 2010). Tanto a modelagem do sistema, quanto o progresso da simulação, deve ser claramente documentada. A documentação pode servir de guia de referência para todos os futuros problemas de natureza semelhante. A frase comum, “Se não é por escrito, não aconteceu”, possui uma relevante importância envolvendo o registro da documentação e a elaboração dos relatórios.

5.3.16 Etapa 3.5 – Implementação

A implementação é a Etapa final em um estudo de simulação e que, segundo Banks (2001), consiste em duas atividades, que são: a apresentação dos resultados e a implementação propriamente dita. A definição mais comum de implementação é quando as recomendações e sugestões do estudo de simulação são aplicadas no mundo real. Pidd (1998) chama isto de “o produto tangível” da simulação. Este é também o tipo de aplicação que a maioria dos comentários iria procurar em uma pesquisa de aplicações de simulação.

Entretanto, a implementação pode não ocorrer diretamente após um projeto de simulação e, muitas vezes, os resultados da simulação são apenas uma das muitas fontes de informação que constitui a base de uma decisão. Pidd (1998) também fala sobre um produto intangível que é a melhoria do conhecimento e da visão, e que pode ser gerado ao longo do estudo de simulação. Muitas vezes, é difícil avaliar como esse conhecimento é melhorado e é posteriormente traduzido em mudanças no sistema ou no comportamento das pessoas, o que torna o processo de avaliação do valor do estudo de simulação ainda mais difícil.

Neste trabalho de pesquisa, não será evidenciada a implementação de forma “tangível”, conforme apresentado por Pidd (1998), mas sim o “produto intangível”, que é a informação ou conhecimento sobre o sistema produtivo analisado. Este “produto intangível” estará na forma de resposta ao problema deste trabalho de pesquisa e na forma do alcance dos objetivos que motivam este estudo.

5.4 Considerações finais

Neste Capítulo, realizou-se pesquisa bibliográfica com o intuito de se avaliar os passos adequados para o desenvolvimento de um estudo que envolve a simulação estocástica de eventos discretos. O produto deste levantamento foi à estruturação de um procedimento metodológico que foi utilizado para se alcançar os objetivos do presente trabalho. A estratificação destas Etapas é importante, pois permite ao leitor o entendimento acerca da maneira como o experimento foi efetuado, facilitando não apenas a compreensão dos resultados alcançados, mas também permitindo a este a realização da replicação do método proposto em outros casos com outros problemas ou planos de melhoria.

No próximo Capítulo, é apresentada a aplicação do estudo, objeto deste trabalho de pesquisa, e é descrito os resultados obtidos. O desenvolvimento do próximo Capítulo segue os passos propostos neste Capítulo e, portanto, seguirá o procedimento metodológico proposto, permitindo ao leitor maior compreensão das Etapas realizadas em cada fase do estudo.

6. APLICAÇÃO

No Capítulo anterior, foi apresentado o procedimento metodológico que foi utilizado para a realização deste estudo. Esse procedimento metodológico foi elaborado para alcançar o objetivo desta pesquisa. Contudo, ele também foi elaborado para promover o rigor científico, necessário em um trabalho de cunho acadêmico. Neste Capítulo, é apresentada a aplicação deste procedimento metodológico, sendo detalhada cada uma das suas fases e etapas. É importante destacar que cada uma das Etapas deste procedimento foi rigorosamente cumprida, permitindo-se, portanto, a realização da análise dos resultados para, posteriormente, chegar à conclusão deste estudo.

6.1 Fase de concepção

A fase de concepção é a fase inicial do estudo envolvendo a modelagem e a simulação computacional. Nesta fase, são identificados os problemas a serem solucionados e, então, é realizado o planejamento do estudo. O planejamento do estudo, entre outras atribuições, possui a função fundamental de se estabelecer os objetivos do estudo e, a partir daí, a busca pelo entendimento do sistema e a formulação do modelo conceitual. O produto final desta fase é o modelo conceitual desenvolvido, validado e documentado.

Nesta fase, é necessário cumprir seis Etapas, que são: (1) identificação/ formulação do problema; (2) planejamento do estudo; (3) entendimento do sistema; (4) formulação/ desenvolvimento do modelo conceitual; (5) validação do modelo conceitual; e (6) documentação do modelo conceitual. Nos próximos parágrafos, é apresentado um detalhamento acerca de cada uma destas Etapas.

6.1.1 Identificação/Formulação do problema

Para o desenvolvimento deste estudo, seguindo os procedimentos metodológicos expostos no Capítulo 5, foi necessário identificar o problema a ser analisado e realizar a formulação textual deste problema, de maneira a proporcionar a delimitação necessária e o desenvolvimento do contorno da pesquisa. É importante salientar que, com a formulação do problema, é possível identificar os elementos necessários para o planejamento adequado do estudo, permitindo identificar, entre os diversos objetivos, aquele que é dado como “meta” ou objetivo primário e que trará a solução do problema identificado.

Considerando as seguintes configurações do sistema produtivo proposto: (a) fabricação dos produtos semiacabados nas unidades do Rio de Janeiro e Itatiaia e posterior envio para a unidade de Três Rios para fabricação do produto-acabado e expedição para o mercado consumidor; e (b) fabricação dos produtos semiacabados nas unidades do Rio de Janeiro e Itatiaia, contudo sendo realizada, na unidade de Itatiaia, a fabricação e expedição dos produtos acabados oriundos tanto dos produtos semiacabados fabricados nesta unidade quanto dos produtos semiacabados fabricados na unidade do Rio de Janeiro e, portanto, extinguindo com a unidade de Três Rios. Definiu-se como problema de pesquisa o seguinte questionamento:

“As questões tributárias de uma região podem reduzir o custo total para a empresa mesmo aumentando os custos operacionais?”.

6.1.2 Planejamento do estudo

Após a identificação do problema a ser solucionado, tem-se como próximo passo a realização do planejamento do estudo. O planejamento deste estudo foi constituído no formato de um projeto de pesquisa de cunho acadêmico tendo sido constituído com base nos seguintes elementos: (a) contextualização introdutória acerca do objeto de pesquisa, evidenciado no Capítulo (1), e que é a base para o leitor para entender os contornos desta pesquisa, pois possuem os objetivos do trabalho, que são orientados exclusivamente para a solução do problema exposto na Seção 6.1.1; (b) Capítulos apresentando a fundamentação teórica acerca dos conceitos de compensação de custos logísticos em sistemas produtivos e da modelagem e simulação de sistemas produtivos, evidenciados nos Capítulos (2) e (3); e (c) procedimento metodológico aplicado, demonstrado no Capítulo 5.

Outros elementos que também foram ponderados durante o planejamento do estudo foram à verificação se a simulação é necessária e a identificação dos recursos para a realização do estudo. Para a primeira questão, a simulação é necessária, pois, por meio da simulação, conforme exposto por Banks (2010), é possível estudar as interações deste complexo sistema e realizar alterações nas informações, na organização e no ambiente do sistema para observar seus efeitos (o que seria inviável de ser aplicado e analisado no sistema real).

Com relação aos recursos necessários para a realização do presente estudo, pode-se citar, além do tempo e do recurso conhecimento acerca do sistema e da metodologia, a necessidade quanto à utilização de um *software* especialista em SED. Portanto, fez-se necessário realizar a escolha do *software* disponível mais adequado para a realização do presente estudo de simulação, conforme exposto no Capítulo 4.

6.1.3 Entendimento do sistema

A cadeia de suprimentos da indústria, objeto da pesquisa, opera do seguinte modo: toda a matéria-prima utilizada na fabricação dos seus produtos, excluindo os materiais de embalagem, é importada de fornecedores asiáticos, principalmente chineses e indianos. O envio da matéria-prima ocorre, desde o país de origem, por meio do modo aéreo, destinando-se ao aeroporto do Rio de Janeiro, onde os produtos passam pelo processo aduaneiro de nacionalização e de controle sanitário, fiscalizados pela Receita Federal brasileira e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

Após a nacionalização, a matéria-prima é transportada via modo rodoviário para a unidade do Rio de Janeiro no qual segue a seguinte premissa: se for matéria-prima para fabricação de antibióticos, o material permanece armazenado na unidade localizada no município do Rio de Janeiro, para consumo produtivo nesta unidade; se for matéria-prima para fabricação de anestésicos, o material é transferido para a unidade de Itatiaia, localizada no município de

Itatiaia, na mesorregião Sul Fluminense, Estado do Rio de Janeiro, distante da capital Rio de Janeiro em 178 quilômetros.

A unidade do Rio de Janeiro é responsável por produzir duas classes de antibióticos que são os cefalosporínicos e os carbapenêmicos. Já a unidade de Itatiaia é responsável por produzir uma classe de anestésico inalatório. Todos os medicamentos fabricados pela indústria em questão são produzidos exclusivamente para consumo hospitalar, não sendo então, de nenhuma forma, comercializados no varejo farmacêutico ou qualquer outro tipo de varejo.

Tanto os medicamentos fabricados na unidade do Rio de Janeiro quanto os medicamentos fabricados na unidade de Itatiaia são produzidos até o estado de semiacabados. Portanto, há ainda mais uma fase de produção.

Os medicamentos produzidos nas unidades do Rio de Janeiro e de Itatiaia, ao término de sua produção, são transferidos para a unidade de Três Rios por meio do modo rodoviário, no qual passam por um processo de industrialização envolvendo a embalagem do produto, tornando este um produto-acabado apto à comercialização.

A necessidade de esses produtos serem enviados para a unidade de Três Rios, município situado na mesorregião Sul Fluminense, Estado do Rio de Janeiro, localizado a 135 km da capital Rio de Janeiro e a 176 km do município de Itatiaia, se dá, exclusivamente, pelo fato de existir um benefício fiscal concedido pelo governo do Estado do Rio de Janeiro, previsto na Lei Ordinária nº 6979 de 31 de março de 2015, às empresas localizadas em 51 municípios do Estado no qual se inclui o município de Três Rios e se exclui os municípios de Itatiaia e Rio de Janeiro.

O benefício fiscal, previsto na Lei Ordinária nº 6979 de 31 de março de 2015, ANEXO, deste trabalho, proporciona às indústrias situadas nesta região um regime especial quanto ao imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS), sendo tributada a alíquota de 3% sobre o faturamento bruto na saída dos produtos, independente do município de destino no Brasil. Este regime de tributação é diferenciado do praticado nos municípios de Itatiaia e Rio de Janeiro, no qual a alíquota varia entre 7%, 12%, 20% e 0% (quando comercializado para a zona franca de Manaus), dependendo da Unidade Federativa (UF) de destino da mercadoria, conforme demonstrado na Figura 6.1.

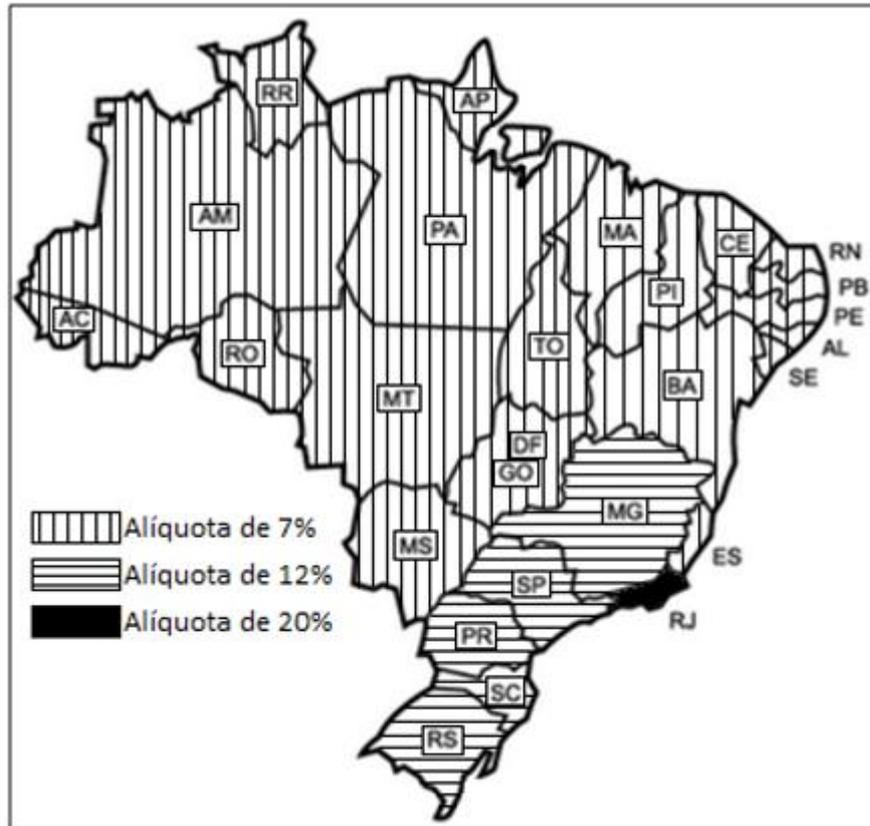


Figura 6.1: Alíquota do ICMS por Estado da federação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para que a indústria em questão pudesse gozar do benefício concedido pelo governo, fez-se necessário criar uma instalação industrial no município de Três Rios, no qual tal unidade não realiza a fabricação de nenhuma classe específica de medicamento. Contudo, cumpre uma fase escalonada do processo produtivo, realizando a etapa final da cadeia de produção dos medicamentos fabricados nas unidades de Itatiaia e Rio de Janeiro, no qual esta etapa envolve a realização da embalagem final dos produtos.

Após a realização da embalagem final dos produtos, estes são armazenados e disponibilizados para a realização das vendas e posterior expedição aos clientes da empresa que são empresas distribuidoras de medicamentos e hospitais em todo o Brasil. A Figura 6.2 ilustra a cadeia de suprimentos da indústria objeto da pesquisa.

No caso da opção pela gestão da indústria objeto da pesquisa, na realização das operações sem a existência da unidade de Três Rios, e, portanto sem o gozo do regime tributário especial, é premissa da gestão desta empresa que as operações relativas à embalagem final do produto, tanto dos medicamentos fabricados na unidade de Itatiaia, quanto dos medicamentos fabricados na unidade do Rio de Janeiro, seja efetuada exclusivamente na unidade de Itatiaia. Tal premissa justifica-se pelo fato de que a unidade fabril do Rio de Janeiro não possui a estrutura necessária para a realização de tal atividade, e também não há área suficiente para uma possível expansão inviabilizando a realização futura desta atividade. Na unidade de Itatiaia, além de já possuir a infraestrutura necessária para a realização da atividade de embalagem final para todo tipo de medicamento fabricado, também dispõe de espaço físico e estrutura para a realização da expedição dos produtos comercializados aos clientes da empresa, ou, caso seja necessário, esta unidade possui área disponível para uma expansão, proporcionando atender uma elevação na demanda.

Durante a realização do entendimento do sistema, efetuou-se uma coleta de dados de diversos elementos característicos deste sistema. Os dados coletados foram: (a) lógica de processamento dos materiais no sistema; (b) datas de ocorrência de chegadas dos materiais no sistema; (c) processo e custo de entrada dos materiais nos estoques; (d) etapas e tempos de processamento dos materiais nos locais; (e) custos de operação dos locais e dos recursos; e (f) apontamento dos tempos de movimento dos materiais no sistema. Para o tratamento estatístico dos dados de entrada coletados, foi utilizado o *software* Stat::Fit® para identificar as distribuições probabilísticas representativas do sistema.

6.1.4 Formulação/ Desenvolvimento do modelo conceitual

Após o entendimento sobre o sistema produtivo, é desenvolvido o modelo conceitual em computador, utilizando a técnica IDEF-SIM por meio do *software* de modelagem de processos DIA®. Esse modelo foi elaborado baseado no mapeamento dos processos produtivos das três categorias de produtos fabricados na indústria pesquisada. Portanto, foram elaborados três modelos conceituais, um para cada categoria de produto, e que mesclados formam o sistema produtivo atual. E mais três modelos conceituais, também, um para cada categoria de produto, mas que mesclados formam a segunda configuração do sistema produtivo proposto, que é a configuração excluindo a unidade de Três Rios.

Na Figura 6.3, é ilustrado o fluxo da cadeia do produto de categoria Cefalosporinas que é envasado na unidade do Rio de Janeiro e, pela atual configuração, é enviado até a unidade de Três Rios para ser embalado e disponibilizado para a comercialização.

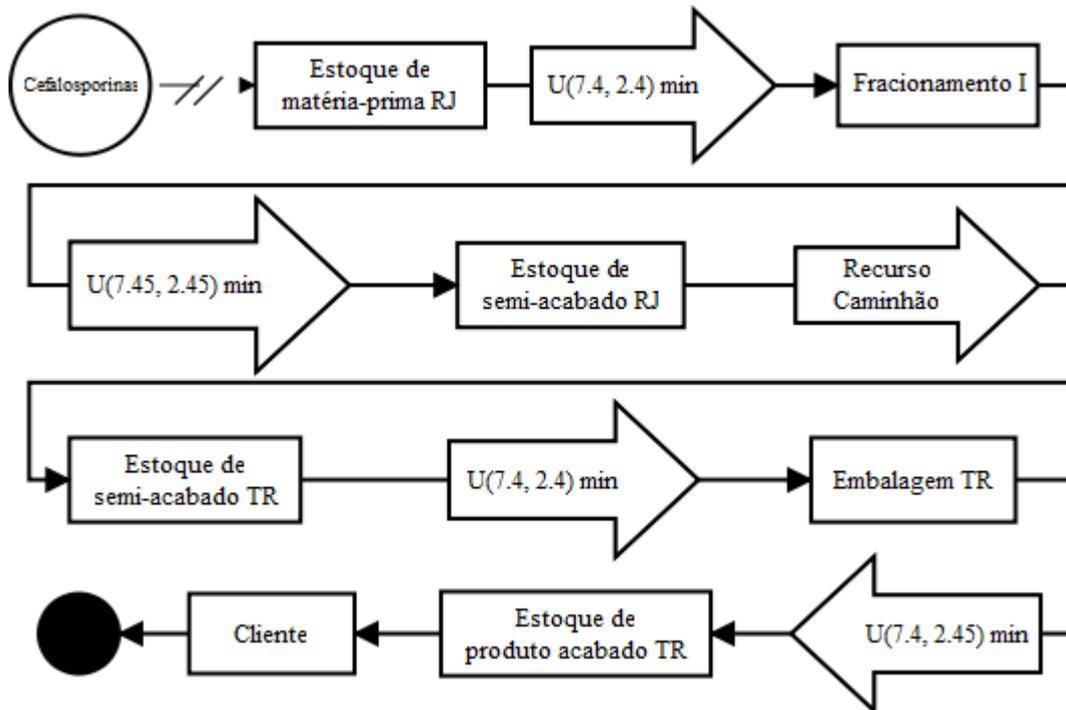


Figura 6.3: Fluxo no cenário (a) da cadeia do produto de categoria Cefalosporinas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O elemento “Cefalosporinas” ilustra a entidade Cefalosporinas entrando no sistema, sendo alocado ao local “Estoque de matéria-prima RJ”, que ilustra o local físico onde são estocadas as matérias-primas importadas, na unidade do Rio de Janeiro, aguardando serem consumidas durante o processo de envase. Esta entidade configura uma unidade de matéria-prima acondicionada em um tambor.

A categoria Cefalosporinas é composta pelos produtos da classe de medicamentos antibióticos cefalosporínicos, e que são comercializados pela indústria pesquisada, que são: ceftriaxona; cefuroxima; cefepima, nas apresentações de 1g e 2g; cefazolina; ceftazidima; e cefalotina, genérico e similar. A versão *student* do ProModel® possui uma quantidade limitada de entidades possíveis de serem criadas, apenas oito. Portanto, para identificar a qual produto determinada entidade se refere, utilizou-se o artifício do “Atributo”, uma funcionalidade do ProModel® para dar uma determinada atribuição ou identidade a uma entidade, local ou recurso. No Quadro 6.1, são especificados os atributos, denominados “aProd”, definidos para a entidade Cefalosporinas.

Quadro 6.1: Atributos aProd definidos para a entidade Cefalosporinas.

Produto	Atributo “aProd”
Ceftriaxona	1
Cefalotina Genérico	2
Ceftazidima	3
Cefuroxima	4
Cefazolina	5
Cefepima 1g	6
Cefepima 2g	7

Quadro 6.1: Atributos aProd definidos para a entidade Cefalosporinas.

Produto	Atributo "aProd"
Cefalotina Similar	8

Fonte: Elaborado pelo autor.

As entradas da entidade Cefalosporinas no sistema ocorrem conforme demonstrado no Quadro 6.2.

Quadro 6.2: Entradas da entidade Cefalosporinas no sistema.

Produto	Atributo "aProd"	Quantidade de lote	Data/Hora
Ceftriaxona	1	9	01/01/2016 08:00
Cefalotina Genérico	2	1	01/01/2016 08:00
Ceftazidima	3	2	01/01/2016 08:00
Cefuroxima	4	1	01/01/2016 08:00
Cefazolina	5	6	01/01/2016 08:00
Cefepima 1g	6	3	01/01/2016 08:00
Cefepima 2g	7	4	01/01/2016 08:00
Cefalotina Similar	8	10	01/01/2016 08:00
Ceftriaxona	1	1	12/01/2016 12:19
Cefazolina	5	2	12/01/2016 12:19
Ceftriaxona	1	1	28/01/2016 12:35
Cefepima 1g	6	1	28/01/2016 12:35
Cefalotina Similar	8	1	28/01/2016 12:35
Cefalotina Similar	8	1	28/01/2016 12:35
Ceftriaxona	1	3	11/02/2016 10:24
Cefalotina Genérico	2	1	11/02/2016 10:24
Ceftazidima	3	1	11/02/2016 10:24
Cefuroxima	4	1	11/02/2016 10:24
Cefazolina	5	2	11/02/2016 10:24
Cefepima 1g	6	1	11/02/2016 10:24
Cefepima 2g	7	2	11/02/2016 10:24
Cefalotina Similar	8	3	11/02/2016 10:24
Ceftriaxona	1	2	12/03/2016 09:40
Cefazolina	5	1	12/03/2016 09:40
Cefalotina Similar	8	2	12/03/2016 09:40
Ceftriaxona	1	2	03/05/2016 07:50
Cefazolina	5	1	03/05/2016 07:50
Cefepima 2g	7	1	03/05/2016 07:50
Cefalotina Similar	8	2	03/05/2016 07:50
Cefalotina Genérico	2	1	10/05/2016 07:28
Cefepima 1g	6	1	10/05/2016 07:28
Ceftazidima	3	1	14/05/2016 10:32
Cefazolina	5	1	14/05/2016 10:32
Cefepima 2g	7	1	14/05/2016 10:32
Ceftriaxona	1	1	25/05/2016 09:08
Cefalotina Similar	8	2	25/05/2016 09:08
Ceftriaxona	1	2	16/06/2016 09:41
Cefalotina Similar	8	2	16/06/2016 09:41
Ceftazidima	3	1	29/06/2016 08:27
Cefazolina	5	1	29/06/2016 08:27
Cefepima 1g	6	1	29/06/2016 08:27
Ceftriaxona	1	1	05/07/2016 08:34
Cefazolina	5	1	05/07/2016 08:34
Cefepima 2g	7	1	05/07/2016 08:34

Quadro 6.2: Entradas da entidade Cefalosporinas no sistema.

Produto	Atributo “aProd”	Quantidade de lote	Data/Hora
Cefalotina Similar	8	1	05/07/2016 08:34
Ceftriaxona	1	1	13/07/2016 07:38
Ceftazidima	3	1	13/07/2016 07:38
Cefazolina	5	1	13/07/2016 07:38
Cefalotina Similar	8	1	13/07/2016 07:38
Ceftriaxona	1	1	19/07/2016 08:26
Cefazolina	5	1	19/07/2016 08:26
Cefepima 2g	7	1	19/07/2016 08:26
Cefalotina Similar	8	1	19/07/2016 08:26
Cefalotina Similar	8	1	03/08/2016 05:30
Cefepima 1g	6	1	17/08/2016 04:14
Ceftriaxona	1	2	30/08/2016 08:42
Cefalotina Similar	8	1	31/08/2016 05:20
Ceftriaxona	1	1	08/09/2016 10:08
Cefazolina	5	1	08/09/2016 10:08
Cefepima 2g	7	1	08/09/2016 10:08
Cefalotina Similar	8	1	08/09/2016 10:08
Cefepima 1g	6	1	16/09/2016 07:28
Cefalotina Genérico	2	1	28/09/2016 03:32
Ceftazidima	3	1	28/09/2016 03:32

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na entrada, no local “Estoque de matéria-prima RJ”, é incrementado o custo à entidade Cefalosporinas. Esse custo varia de acordo com o produto, e, portanto de acordo com o atributo aProd. Esse custo diz respeito ao quanto foi gasto para a aquisição do material e envolve o custo do material propriamente dito incrementado dos gastos aduaneiros de nacionalização, adicionando também os custos com transportes para envio até a indústria, além dos gastos com os materiais de embalagem que serão consumidos durante os processos de envase e de embalagem final. Portanto, neste momento, já são atribuídos todos os custos com materiais diretos apropriados a fabricação do produto-acabado. Na Tabela 6.1, são apresentados os custos de entrada da entidade Cefalosporinas para cada produto.

Tabela 6.1: Custos de entrada da entidade Cefalosporinas para cada lote de produto.

Produto	Atributo “aProd”	Custo/ unidade de lote
Ceftriaxona	1	R\$ 86.204,55
Cefalotina Genérico	2	R\$ 139.715,85
Ceftazidima	3	R\$ 142.274,24
Cefuroxima	4	R\$ 99.070,19
Cefazolina	5	R\$ 98.358,82
Cefepima 1g	6	R\$ 148.251,95
Cefepima 2g	7	R\$ 137.510,96
Cefalotina Similar	8	R\$ 124.969,15

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao iniciar o processo de envase, a entidade Cefalosporinas se move do local “Estoque de matéria-prima” até o local Fracionamento I. Este movimento possui um tempo baseado em uma distribuição de probabilidade uniforme de média de 7,4 minutos com intervalo médio de

2,4 min. No local Fracionamento I, a entidade Cefalosporinas realiza o processo de envase de todo o lote. Este processo terá uma duração que irá variar de acordo com o produto, e, portanto de acordo com o atributo aProd. A duração dos tempos de envase para cada produto de categoria Cefalosporinas são distribuições probabilísticas evidenciadas na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Tempos em horas de envase por unidade de lote dos produtos de categoria Cefalosporinas no local Fracionamento I.

Produto	Atributo "aProd"	Tempo de operação
Ceftriaxona	1	21.+L(5.9, 3.62) hr
Cefalotina Genérico	2	N(28.13325, 2.990604) hr
Ceftazidima	3	N(22.588, 6.8295) hr
Cefuroxima	4	N(23.584, 6.2459) hr
Cefazolina	5	17.+L(6.7, 6.76) hr
Cefepima 1g	6	N(22.471, 5.6465) hr
Cefepima 2g	7	T(8., 14.2, 14.8) hr
Cefalotina Similar	8	U(24., 7.04) hr

Fonte: elaborado pelo autor.

Analisando os dados coletados, observou-se que o local "Fracionamento I" tem um histórico de paradas de operação para realização de *setup*, que ocorre antes da entrada de um novo lote de entidade Cefalosporinas. Essa operação de *setup* possui uma duração de tempo que representa uma distribuição probabilística triangular com tempo mínimo de 3,6 horas, tempo máximo de 7,97 horas e uma moda de 7,49 horas.

O processo de envase incrementa um custo variável, proporcional ao tempo da atividade de envase. Segundo dados coletados na indústria, este custo variável, no formato de uma tarifa/hora está no valor médio de R\$ 579,29. Esta tarifa é obtida pela soma de todos os custos indiretos e de mão de obra alocados ao centro de custo do local e divididos pelo tempo padrão dos apontamentos de produção durante os meses de Janeiro a Outubro de 2016. Esta informação foi coletada a partir dos registros de apuração dos custos reais de produção durante o período analisado.

Ao término do processo de envase, a entidade é movimentada até o local "Estoque de semiacabado RJ". Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,45 minutos e intervalo médio de 2,45 minutos.

Na configuração do sistema produtivo atual, a entidade permanece aguardando no local "Estoque de semiacabado RJ" até ser movimentada para o local "Estoque de semiacabado TR". O local "Estoque de semiacabado TR" ilustra o local físico, na unidade de Três Rios, onde a entidade Cefalosporinas permanece estocada aguardando a realização do processo de embalagem final. Este movimento é realizado por um caminhão que percorre uma distância de 135 km entre os dois municípios. Este caminhão percorre este trajeto a uma velocidade média de 50 km/h e, segundo dados coletados na indústria, este movimento incrementa um custo de R\$ 568,76a cada unidade de entidade transportada.

A entidade Cefalosporinas permanece no local “Estoque de semiacabado TR” até ser movimentada para o local “Embalagem TR”, onde sofre o processo de embalagem final para posterior comercialização. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,4 minutos e intervalo médio de 2,4 minutos.

No local “Embalagem TR”, a entidade Cefalosporinas realiza o processo de embalagem de todo o lote. Este processo tem uma duração que varia de acordo com o produto e, portanto, de acordo com o atributo aProd. A duração dos tempos de embalagem para cada produto de categoria Cefalosporinas são distribuições probabilísticas e é evidenciada na Tabela 6.3.

Tabela 6.3: Tempos em horas de embalagem por unidade de lote dos produtos de categoria Cefalosporinas no local Embalagem TR.

Produto	Atributo "aProd"	Tempo de operação
Ceftriaxona	1	$4.56+L(1.37, 1.14)$ hr
Cefalotina Genérico	2	$N(6, 0.25)$ hr
Ceftazidima	3	$N(3.95, 0.718)$ hr
Cefuroxima	4	$N(5.125, 1.591)$ hr
Cefazolina	5	$-748+L(753, 1.15)$ hr
Cefepima 1g	6	$N(4.139, 0.393)$ hr
Cefepima 2g	7	$1.02+L(1.12, 0.321)$ hr
Cefalotina Similar	8	$1.47+L(3.99, 1.08)$ hr

Fonte: elaborado pelo autor.

O processo de embalagem incrementa um custo variável, proporcional ao tempo da atividade de embalagem. Segundo dados coletados na indústria, este custo variável, no formato de uma tarifa/hora está no valor médio de R\$ 1.086,82. Esta tarifa é obtida pela soma de todos os custos indiretos e de mão de obra alocados ao centro de custo do local e dividido pelo tempo padrão dos apontamentos de produção durante os meses de Janeiro a Outubro de 2016.

Ao término do processo de embalagem, a entidade é movimentada até o local “Estoque de produto-acabado TR”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,4 minutos e intervalo médio de 2,45 minutos.

Estando no local “Estoque de produto-acabado TR”, a entidade Cefalosporinas é disponibilizada para comercialização. Estes produtos são comercializados para clientes distribuídos em todo o território brasileiro. Portanto, sua comercialização seria tributada a alíquota de ICMS de 7%, 12%, 20% ou 0% (quando comercializado para a zona franca de Manaus). No entanto, nesta configuração do sistema produtivo, dado ao fato de que a expedição ocorre pelo município de Três Rios, a indústria em questão faz uso do benefício fiscal regulamentado pela Lei 6979 de 31 de março de 2015, ANEXO. Portanto, todo o faturamento é tributado à alíquota de 3% de ICMS, independente da Unidade Federativa de destino.

Na Tabela 6.4, são apresentados os preços por unidade de lote dos produtos, por atributo aProd para a categoria Cefalosporinas.

Tabela 6.4: Preços por unidade de lote dos produtos de categoria Cefalosporinas por atributo aProd.

Produto	Atributo "aProd"	Preço por unidade de lote
Ceftriaxona	1	R\$ 137.828,32
Cefalotina Genérico	2	R\$ 203.915,28
Ceftazidima	3	R\$ 206.866,75
Cefuroxima	4	R\$ 178.980,21
Cefazolina	5	R\$ 148.938,19
Cefepima 1g	6	R\$ 207.211,75
Cefepima 2g	7	R\$ 196.489,40
Cefalotina Similar	8	R\$ 182.392,47

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6.4, é ilustrado o fluxo da cadeia do produto de categoria Carbapenemas, que também é envasado na unidade do Rio de Janeiro e que, também pela atual configuração, é enviado até a unidade de Três Rios para ser embalado e disponibilizado para a comercialização.

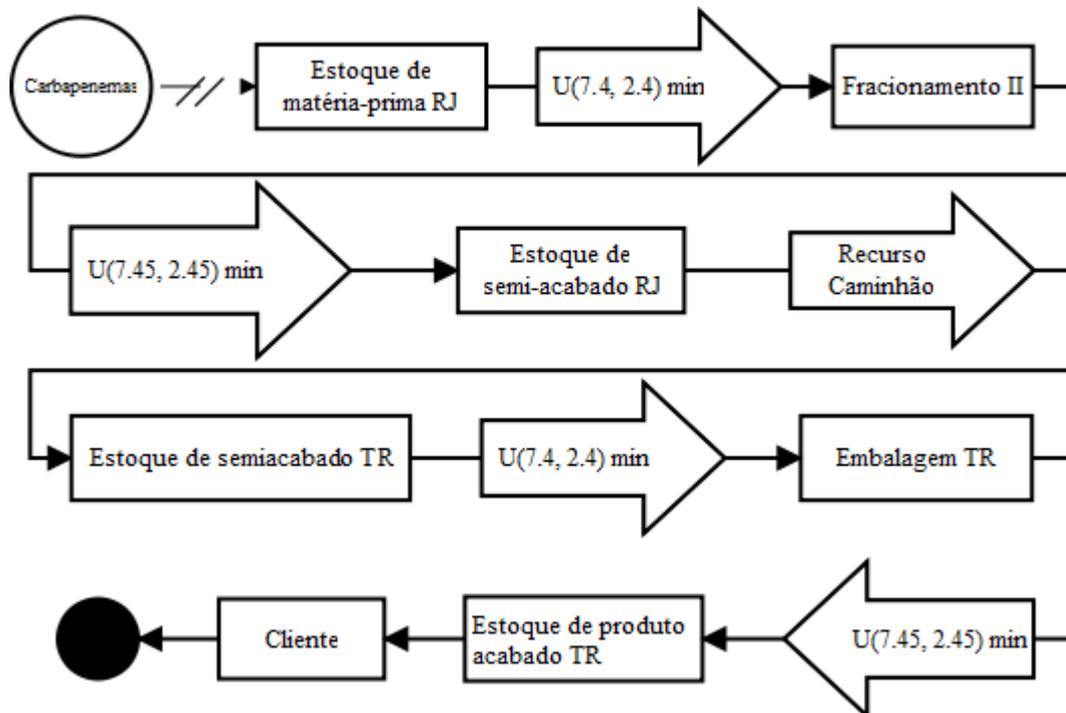


Figura 6.4: Fluxo no cenário (a) da cadeia do produto de categoria Carbapenemas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6.4, o elemento “Carbapenemas” ilustra a entidade Carbapenemas entrando no sistema, sendo alocado ao local “Estoque de matéria-prima RJ”, aguardando serem consumidas durante o processo de envase. Esta entidade também configura uma unidade de matéria-prima acondicionada em um tambor.

A categoria Carbapenemas é composta pelos produtos da classe de medicamentos antibióticos carbapenêmicos, e que são comercializados pela indústria pesquisada, que são: aztreonam;

meropenem genérico, nas apresentações de 1g e 500mg, meropenem similar na apresentação de 1g, e imipenem. Devido à limitação de quantidade de entidade a serem criadas na versão *student* do ProModel®, também se utilizou o artifício atributo para identificar a qual produto determinada entidade se referia. No Quadro 6.3, são especificados os atributos “aProd” definidos para cada entidade Carbapenemas.

Quadro 6.3: Atributos aProd definidos para a entidade Carbapenemas.

Produto	Atributo "aProd"
Aztreonam	1
Meropenem 500mg Similar	2
Meropenem 1g Genérico	3
Meropenem 500mg Genérico	4
Imipenem	5

Fonte: Elaborado pelo autor.

As entradas da entidade Carbapenemas no sistema ocorrem conforme demonstrado na Quadro 6.4.

Quadro 6.4: Entradas da entidade Carbapenemas no sistema.

Produto	Atributo "aProd"	Quantidade de lote	Data/Hora
Meropenem 1g Similar	2	1	01/01/2016 08:00
Meropenem 1g Genérico	3	5	01/01/2016 08:00
Meropenem 500mg Genérico	4	4	01/01/2016 08:00
Imipenem	5	2	01/01/2016 08:00
Meropenem 500mg Genérico	4	2	30/01/2016 09:04
Meropenem 1g Genérico	3	2	30/01/2016 09:48
Meropenem 1g Genérico	3	1	04/02/2016 04:04
Meropenem 500mg Genérico	4	1	04/02/2016 04:04
Meropenem 1g Genérico	3	1	04/02/2016 04:35
Imipenem	5	1	04/02/2016 04:35
Meropenem 1g Genérico	3	1	24/02/2016 09:18
Meropenem 500mg Genérico	4	1	24/02/2016 09:18
Meropenem 1g Genérico	3	2	09/03/2016 03:50
Meropenem 500mg Genérico	4	1	09/03/2016 03:50
Imipenem	5	1	09/03/2016 03:50
Meropenem 1g Genérico	3	1	22/03/2016 09:15
Meropenem 500mg Genérico	4	2	22/03/2016 09:15
Meropenem 1g Genérico	3	3	19/04/2016 07:29
Meropenem 500mg Genérico	4	3	19/04/2016 07:29
Meropenem 500mg Genérico	4	3	12/05/2016 07:15
Meropenem 1g Genérico	3	3	18/05/2016 09:00
Imipenem	5	1	18/05/2016 09:00
Meropenem 500mg Genérico	4	3	09/06/2016 01:46
Meropenem 500mg Genérico	4	2	10/06/2016 10:24
Meropenem 1g Genérico	3	6	21/06/2016 06:05
Aztreonam	1	1	29/06/2016 07:19
Meropenem 1g Genérico	3	1	29/06/2016 07:19
Imipenem	5	2	29/06/2016 07:19
Meropenem 1g Genérico	3	3	15/07/2016 03:40
Meropenem 500mg Genérico	4	1	15/07/2016 03:40
Meropenem 500mg Genérico	4	2	15/07/2016 08:36
Meropenem 1g Genérico	3	2	21/07/2016 09:27

Quadro 6.4: Entradas da entidade Carbapenemas no sistema.

Produto	Atributo "aProd"	Quantidade de lote	Data/Hora
Imipenem	5	2	28/07/2016 10:15
Meropenem 1g Genérico	3	2	17/08/2016 08:29
Meropenem 500mg Genérico	4	2	29/08/2016 10:15
Imipenem	5	1	31/08/2016 05:14
Meropenem 1g Genérico	3	3	09/09/2016 09:04
Meropenem 500mg Genérico	4	1	09/09/2016 09:04
Imipenem	5	1	20/09/2016 04:52
Imipenem	5	2	23/09/2016 04:28
Meropenem 500mg Genérico	4	2	23/09/2016 09:46
Aztreonam	1	1	28/09/2016 03:17
Meropenem 1g Similar	2	1	28/09/2016 03:17

Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante a entrada no local “Estoque de matéria-prima RJ”, é avaliado o custo da entidade Carbapenemas. O custo varia de acordo com o produto e, portanto, de acordo com o atributo aProd. Esse custo diz respeito ao quanto foi gasto para a aquisição do material e envolve o custo pago ao fornecedor do material incrementado dos gastos aduaneiros de nacionalização, os custos com transportes para envio até a indústria e os custos dos materiais que serão consumidos nos processos de envase e embalagem final. Portanto, nesta etapa, são acrescidos todos os custos de materiais diretos compondo o custo final do produto-acabado. Na Tabela 6.5, são apresentados os custos de entrada da entidade Carbapenemas para cada produto.

Tabela 6.5: Custos de entrada da entidade Carbapenemas para cada lote de produto.

Produto	Atributo aProd	Custo/ unidade de lote
Aztreonam	1	R\$ 31.249,95
Meropenem 500g Similar	2	R\$ 223.987,71
Meropenem 1g Genérico	3	R\$ 383.927,18
Meropenem 500g Genérico	4	R\$ 276.987,39
Imipenem	5	R\$ 289.248,93

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao iniciar o processo de envase, a entidade Carbapenemas se move do local “Estoque de matéria-prima” até o local “Fracionamento II”. Este movimento possui um tempo baseado em uma distribuição de probabilidade uniforme de média de 7,4 minutos com intervalo médio de 2,4 min. No local “Fracionamento II”, é realizado o processo de envase de todo o lote da entidade Carbapenemas. Este processo tem uma duração que varia de acordo com o produto, portanto, de acordo com o atributo aProd. A duração dos tempos de envase para cada produto de categoria Carbapenemas são distribuições probabilísticas, conforme apresenta a Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Tempos em horas de envase por unidade de lote dos produtos de categoria Carbapenemas no local Fracionamento II.

Produto	Atributo "aProd"	Tempo de operação
Aztreonam	1	N(10.083, 2.12132) hr
Meropenem 500g Similar	2	N(16.625, 5.243904) hr
Meropenem 1g Genérico	3	2.+L(28., 11.2) hr
Meropenem 500g Genérico	4	T(10., 42.9, 52.9) hr

Tabela 6.6: Tempos em horas de envase por unidade de lote dos produtos de categoria Carbapenemas no local Fracionamento II.

Produto	Atributo "aProd"	Tempo de operação
Imipenem	5	22.+L(3.37, 5.79) hr

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando os dados coletados, observou-se que o local “Fracionamento II” tem um histórico de paradas de operação para realização de *setup*, que ocorre antes da entrada de um novo lote de entidade Carbapenemas. Esta operação de *setup* possui uma duração de tempo que representa uma distribuição probabilística triangular com tempo mínimo de 3,51 horas, tempo máximo de 7,95 horas e uma moda de 7,95 horas.

O processo de envase da entidade Carbapenemas incrementa um custo variável, proporcional ao tempo da atividade de envase. Segundo dados coletados na indústria, esse custo variável, no formato de uma tarifa/hora está no valor médio de R\$ 482,38. Essa tarifa é obtida pela soma de todos os custos indiretos e de mão de obra alocados ao centro de custo do local “Fracionamento II” e dividido pelo tempo padrão dos apontamentos de horas das atividades de envase durante os meses de Janeiro a Outubro de 2016.

Ao término do processo de envase, a entidade é movimentada até o local “Estoque de semiacabado RJ”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,45 minutos e intervalo médio de 2,45 minutos. Na configuração do sistema produtivo atual, a entidade permanece aguardando no local “Estoque de semiacabado RJ” até ser movimentada para o local “Estoque de semiacabado TR”. Este movimento é realizado por um caminhão que percorre uma distância de 135 km a uma velocidade média de 50 km/h. Segundo dados coletados na indústria, este movimento incrementa um custo à entidade de R\$ 568,76.

A entidade Carbapenemas permanece armazenada no local “Estoque de semiacabado TR” até ser movimentada para o local “Embalagem TR”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,4 minutos e intervalo médio de 2,4 minutos. No local “Embalagem TR”, é realizada a operação de embalagem de todo o lote da entidade Carbapenemas. Esta operação consome um tempo que varia de acordo com o produto, portanto, de acordo com o atributo aProd da entidade. A duração dos tempos de embalagem para cada produto de categoria Carbapenemas são distribuições probabilísticas, conforme apresenta a Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Tempos em horas de embalagem por unidade de lote dos produtos de categoria Carbapenemas no local Embalagem TR.

Produto	Atributo "aProd"	Tempo de operação
Aztreonam	1	N(1.792, 0.295) hr
Meropenem 500g Similar	2	N(4.667, 1.561) hr
Meropenem 1g Genérico	3	-6.27+L(10.5, 1.82) hr
Meropenem 500g Genérico	4	N(5.13, 1.12) hr
Imipenem	5	T(2.34, 3., 4.74) hr

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como é para a entidade Cefalosporinas, a operação de embalagem da entidade Carbapenemas também incrementa um custo variável a esta entidade, proporcional ao tempo da atividade de embalagem sob a tarifa/hora média de R\$ 1.086,82. Ao término do processo de embalagem, a entidade Carbapenemas é movimentada até o local “Estoque de produto-acabado TR”. Este movimento dura um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,4 minutos e intervalo médio de 2,45 minutos.

A entidade Carbapenemas, ao ser acondicionado no local “Estoque de produto-acabado TR”, já está disponível para a comercialização. Nesta configuração do sistema produtivo, para o faturamento da entidade Carbapenemas, a indústria em questão faz uso do benefício fiscal regulamentado pela Lei 6979 de 31 de março de 2015. Portanto, todo o faturamento é tributado à alíquota de 3% de ICMS, independente da Unidade Federativa de destino. Os preços de faturamento variam de acordo com os produtos desta categoria. Por meio da Tabela 6.8, são apresentados os preços de faturamento dos produtos com base nos atributos aProd para a categoria Carbapenemas.

Tabela 6.8: Preços por unidade de lote dos produtos de categoria Carbapenemas por atributo aProd.

Produto	Atributo "aProd"	Valor Faturamento por unidade de lote
Aztreonam	1	R\$ 51.021,79
Meropenem 500g Similar	2	R\$ 310.491,76
Meropenem 1g Genérico	3	R\$ 555.581,02
Meropenem 500g Genérico	4	R\$ 385.095,57
Imipenem	5	R\$ 399.886,65

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6.5, é ilustrado o fluxo da cadeia do produto de categoria Anestésico, que é envasado na unidade de Itatiaia e que, também pela atual configuração, é enviado até a unidade de Três Rios para ser embalado e disponibilizado para a comercialização.

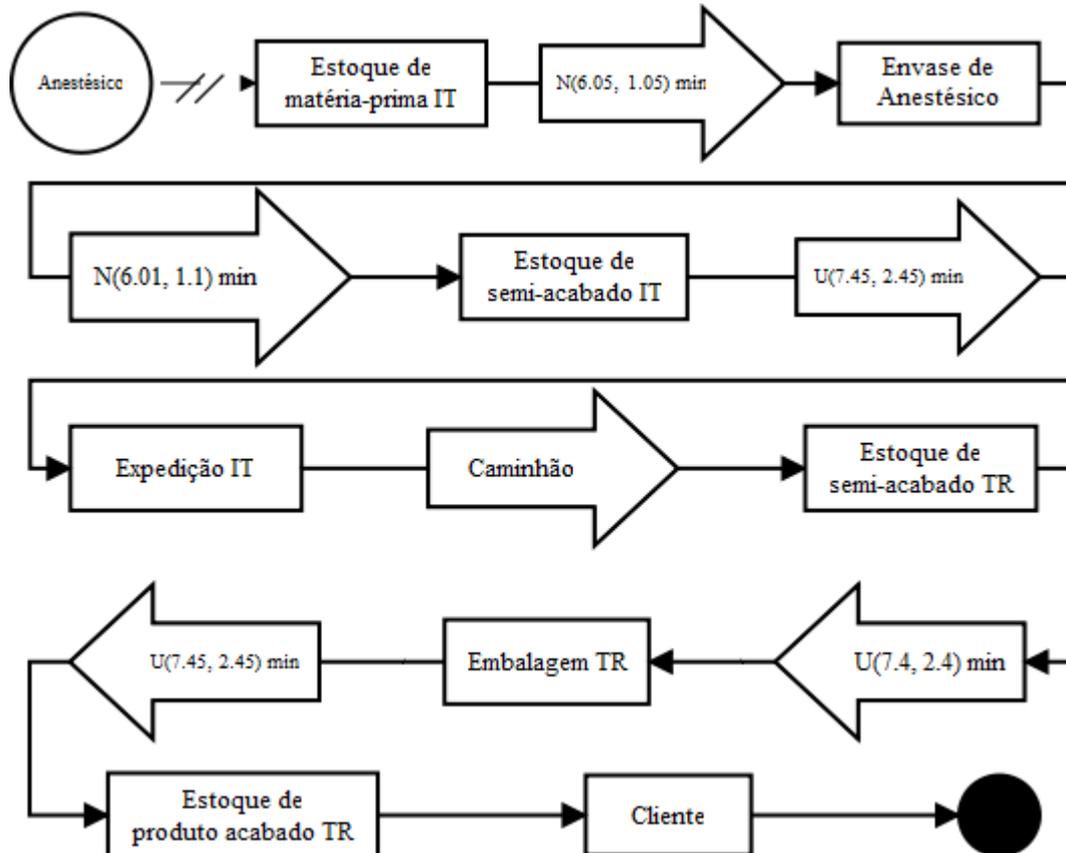


Figura 6.5: Fluxo no cenário (a) da cadeia do produto de categoria Anestésico.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6.5, o elemento “Anestésico” ilustra a entidade Anestésico entrando no sistema, sendo alocado ao local “Estoque de matéria-prima IT”. Esse local ilustra o local físico, na unidade de Itatiaia, onde são armazenadas as matérias-primas importadas, que permanecem aguardando para serem consumidas durante a operação de envase. Esta entidade configura uma unidade de matéria-prima acondicionada em um tambor.

A categoria Anestésico é composta pelos produtos da classe de medicamentos anestésicos fluranos e que são comercializados pela indústria pesquisada, que são: sevoflurano 250 ml similar; isoflurano genérico, nas apresentações de 100 ml e 240 ml; isoflurano 100 ml similar; sevoflurano genérico nas apresentações de 100 ml e 250 ml. Pelo fato da versão *student* do ProModel® possuir uma quantidade limitada de criação de entidades, para discriminar a qual produto determinada entidade Anestésico se referia, utilizou-se o artifício do atributo. No Quadro 6.5, são especificados os atributos “aProd” definidos para a entidade Anestésico.

Quadro 6.5: Atributos aProd definidos para a entidade Anestésico.

Produto	Atributo "aProd"
Sevoflurano 250 ml Similar	1
Isoflurano 100 ml	2
Isoflurano 240 ml	3
Isoflurano 100 ml Similar	4
Sevoflurano 100 ml Genérico	5

Quadro 6.5: Atributos aProd definidos para a entidade Anestésico.

Produto	Atributo "aProd"
Sevoflurano 250 ml Genérico	6

Fonte: Elaborado pelo autor.

As entradas da entidade Anestésico no sistema ocorrem conforme demonstrado na Quadro 6.6.

Quadro 6.6: Entradas da entidade Anestésico no sistema.

Produto	Atributo "aProd"	Quantidade de lote	Data/Hora
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	1	01/01/2016 08:00
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	1	09/01/2016 10:16
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	1	20/01/2016 01:34
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	1	04/02/2016 03:21
Isoflurano 100 ml	2	2	12/02/2016 10:17
Isoflurano 240 ml	3	1	12/02/2016 10:17
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	1	12/02/2016 10:17
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	2	12/02/2016 10:17
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	1	17/02/2016 12:59
Isoflurano 100 ml	2	2	08/03/2016 01:43
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	1	08/03/2016 01:43
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	3	08/03/2016 01:43
Sevoflurano 250 ml Similar	1	1	24/03/2016 11:25
Isoflurano 100 ml	2	1	31/03/2016 12:38
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	1	31/03/2016 12:38
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	2	04/04/2016 10:59
Isoflurano 100 ml	2	3	12/05/2016 01:31
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	1	12/05/2016 01:31
Isoflurano 100 ml	2	2	25/05/2016 08:57
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	3	25/05/2016 08:57
Isoflurano 100 ml	2	2	09/06/2016 12:40
Isoflurano 240 ml	3	1	09/06/2016 12:40
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	1	09/06/2016 12:40
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	2	09/06/2016 12:40
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	1	27/06/2016 01:13
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	1	27/06/2016 01:13
Isoflurano 100 ml	2	1	30/06/2016 09:27
Isoflurano 240 ml	3	1	30/06/2016 09:27
Isoflurano 100 ml Similar	4	1	30/06/2016 09:27
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	1	30/06/2016 09:27
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	1	11/07/2016 08:47
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	2	11/07/2016 08:47
Isoflurano 100 ml	2	2	04/08/2016 09:14
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	1	04/08/2016 09:14
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	2	15/08/2016 09:05
Isoflurano 100 ml	2	2	05/09/2016 08:51
Isoflurano 240 ml	3	1	05/09/2016 08:51
Isoflurano 100 ml	2	1	19/09/2016 09:38
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	2	19/09/2016 09:38
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	2	19/09/2016 09:38
Isoflurano 100 ml	2	1	22/09/2016 09:15
Isoflurano 240 ml	3	2	21/10/2016 08:33
Isoflurano 100 ml	2	1	22/10/2016 08:16
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	3	22/10/2016 08:16

Quadro 6.6: Entradas da entidade Anestésico no sistema.

Produto	Atributo "aProd"	Quantidade de lote	Data/Hora
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	2	22/10/2016 08:16

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Estoque de matéria-prima RJ, é avaliado o custo de entrada da entidade Anestésico. Este custo varia de acordo com o produto e, portanto, de acordo com o atributo aProd atribuído a esta entidade. Este custo diz respeito ao quanto foi gasto para a aquisição do material e envolve o custo do material propriamente dito, incrementado dos custos aduaneiros de nacionalização, dos custos com transportes para envio até a indústria e dos custos relacionados aos materiais que serão consumidos nas atividades de envase e embalagem final. Portanto, nesta Etapa, são absorvidos todos os custos relacionados ao consumo de materiais diretos para a fabricação do produto-acabado. Na Tabela 6.9, são apresentados os custos de entrada da entidade Anestésico para cada produto.

Tabela 6.9: Custos de entrada da entidade Anestésico para cada lote de produto.

Produto	Atributo aProd	Custo/ unidade de lote
Sevoflurano 250 ml Similar	1	R\$ 118.323,00
Isoflurano 100 ml Genérico	2	R\$ 102.694,82
Isoflurano 240 ml Genérico	3	R\$ 56.921,48
Isoflurano 100 ml Similar	4	R\$ 33.930,83
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	R\$ 168.287,70
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	R\$ 286.037,31

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao iniciar a operação de envase, a entidade Anestésico é movimentada do local “Estoque de matéria-prima IT” até o local “Envase de Anestésico”. Este movimento possui um tempo baseado em uma distribuição de probabilidade normal de média de 6,05 minutos com desvio padrão de 1,05 minutos. No local “Envase de Anestésico”, é realizada a operação de envase de todo o lote da entidade Anestésico. Este processo consome um tempo que varia de acordo com o produto e, portanto, de acordo com o atributo aProd direcionado a entidade. A duração dos tempos de envase para cada produto de categoria Anestésico são distribuições probabilísticas, conforme apresenta a Tabela 6.10.

Tabela 6.10: Tempos em horas de envase por unidade de lote dos produtos de categoria Anestésico no local Envase de Anestésico.

Produto	Atributo "aProd"	Tempo de operação
Sevoflurano 250 ml Similar	1	N(9.29, 4.84) hr
Isoflurano 100 ml Genérico	2	U(20., 14.4) hr
Isoflurano 240 ml Genérico	3	N(5.681, 1.968) hr
Isoflurano 100 ml Similar	4	U(20., 14.4) hr
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	N(8.55, 3.51) hr
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	N(9.29, 4.84) hr

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando os dados coletados, observou-se que o local “Envase de Anestésico” tem um histórico de paradas de operação para a realização de *setup*, que ocorre antes da entrada de um

novo lote de entidade Anestésico. Esta operação de *setup* possui uma duração de tempo que representa uma distribuição probabilística uniforme com média de 16,5 horas e intervalo médio de 14,5 horas.

A operação de envase incrementa um custo variável, proporcional ao tempo da atividade de envase. Segundo dados coletados na indústria, este custo variável, no formato de tarifa/hora está no valor médio de R\$ 347,54. Esta tarifa é obtida pela soma de todos os custos indiretos e de mão de obra alocados ao centro de custo do local e dividido pelo tempo padrão dos apontamentos de produção durante os meses de Janeiro a Outubro de 2016.

Ao término da operação de envase, a entidade é movimentada até o local “Estoque de semiacabado IT”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística normal com média de 6,01 minutos e desvio padrão de 1,1 minutos. Posteriormente, a entidade Anestésico é movimentada até o local “Expedição IT”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,45 minutos e intervalo médio de 2,45 minutos.

Na configuração do sistema produtivo atual, a entidade permanece aguardando no local “Expedição IT” até ser movimentada para o local “Estoque de semiacabado TR”, onde a entidade Anestésico permanece estocada aguardando a realização do processo de embalagem. Este movimento é realizado por um caminhão que percorre uma distância de 183 km a uma velocidade média de 50 km/h, segundo dados coletados na indústria, este movimento incrementa um custo à entidade de R\$ 672,13.

A entidade Anestésico permanece no local “Estoque de semiacabado TR” até ser movimentada para o local “Embalagem TR”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,4 minutos e intervalo médio de 2,4 minutos. No local “Embalagem TR”, é realizada a operação de embalagem de todo o lote da entidade Anestésico. Esta operação consome um tempo que irá variar de acordo com o produto e, portanto, de acordo com o atributo *aProd* da entidade. A duração dos tempos de embalagem para cada produto de categoria Anestésico são distribuições probabilísticas, segundo apresenta a Tabela 6.11.

Tabela 6.11: Tempos em horas de embalagem por unidade de lote dos produtos de categoria Anestésico no local Embalagem TR.

Produto	Atributo "aProd"	Tempo de operação
Sevoflurano 250 ml Similar	1	N(9.29, 4.84) hr
Isoflurano 100 ml Genérico	2	U(20., 14.4) hr
Isoflurano 240 ml Genérico	3	N(5.681, 1.968) hr
Isoflurano 100 ml Similar	4	U(20., 14.4) hr
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	N(8.55, 3.51) hr
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	N(9.29, 4.84) hr

Fonte: Elaborado pelo autor.

A operação de embalagem dos produtos de categoria Anestésico incrementa custo variável a estes produtos, proporcional ao tempo da atividade de embalagem. A tarifa média por hora é

de R\$ 1.086,82. Ao término do processo de embalagem, a entidade Anestésico é movimentada até o local “Estoque de produto-acabado TR”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,4 minutos e intervalo médio de 2,45 minutos.

No local “Estoque de produto-acabado TR”, a entidade Anestésico fica disponível para comercialização. Para o faturamento da entidade Anestésico, nesta configuração do sistema produtivo, a indústria em questão faz uso do benefício fiscal regulamentado pela Lei 6979 de 31 de março de 2015. Portanto, todo o faturamento é tributado à alíquota de 3% de ICMS, independente da Unidade Federativa de destino. Os preços de faturamento variam de acordo com os produtos desta categoria. Na Tabela 6.12, são apresentados os preços de faturamento dos produtos estando por base os atributos aProd para a categoria Anestésico.

Tabela 6.12: Preços por unidade de lote dos produtos de categoria Anestésico por atributo aProd.

Produto	Atributo "aProd"	Valor Faturamento por unidade de lote
Sevoflurano 250 ml Similar	1	R\$ 185.838,10
Isoflurano 100 ml Genérico	2	R\$ 138.161,90
Isoflurano 240 ml Genérico	3	R\$ 79.331,47
Isoflurano 100 ml Similar	4	R\$ 64.498,36
Sevoflurano 100 ml Genérico	5	R\$ 224.075,07
Sevoflurano 250 ml Genérico	6	R\$ 377.483,44

Fonte: Elaborado pelo autor.

Desta forma, é constituído o modelo conceitual considerando a configuração do sistema produtivo atual, no qual é utilizada a unidade de Três Rios para a expedição dos produtos comercializados pela Indústria objeto da pesquisa. Na sequência, é apresentado o modelo conceitual considerando a configuração do sistema produtivo proposto, para análise comparativa para avaliar se há a compensação de custos. Neste cenário, todos os produtos fabricados pela indústria serão expedidos para a comercialização a partir da unidade de Itatiaia.

Na Figura 6.6, é ilustrado o fluxo da cadeia do produto de categoria Cefalosporinas que é envasado na unidade do Rio de Janeiro e, pela configuração do sistema produtivo proposto, é enviado até a unidade de Itatiaia para ser embalado e disponibilizado para a comercialização.

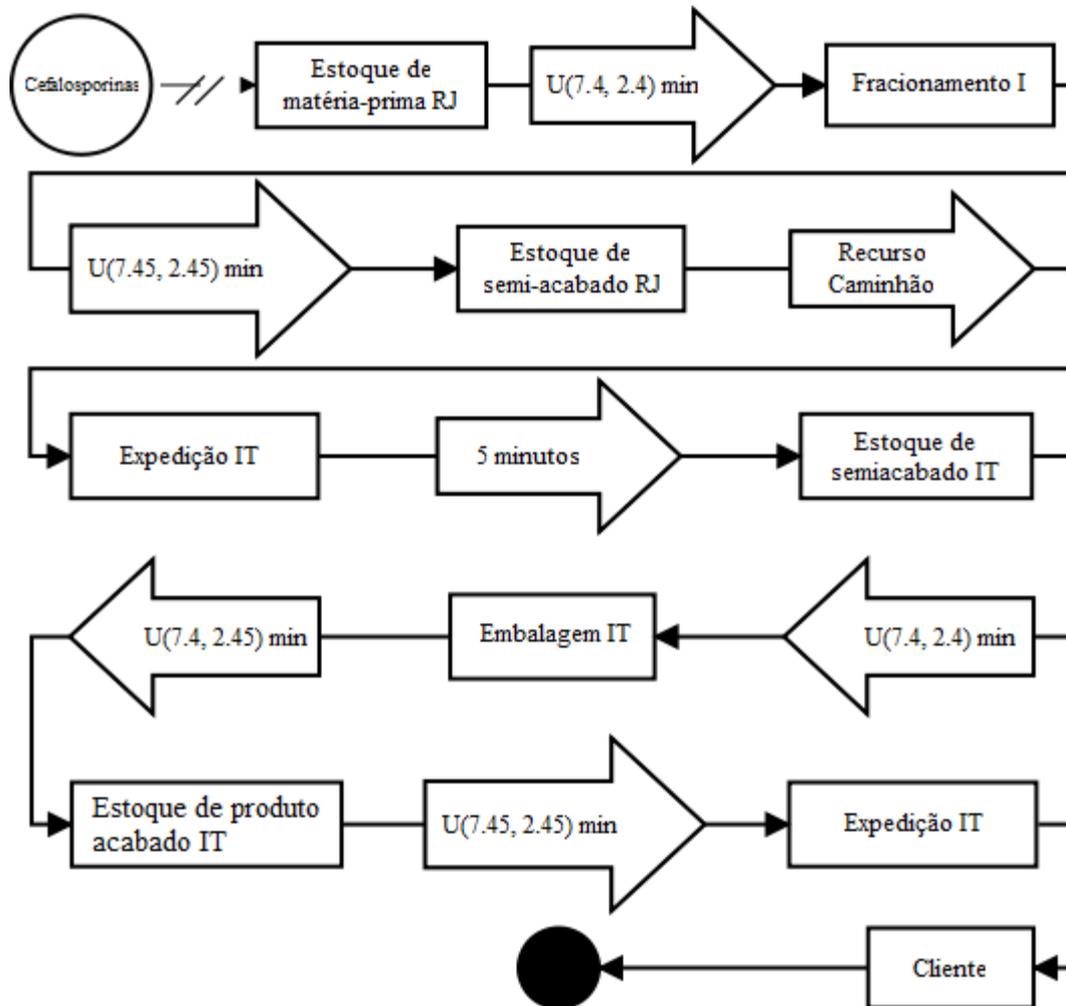


Figura 6.6: Fluxo no cenário (b) da cadeia do produto de categoria Cefalosporinas.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste cenário (b), a entidade Cefalosporinas também entra no sistema sendo direcionado ao local “Estoque de matéria-prima RJ”, na unidade do Rio de Janeiro, aguardando serem consumidas durante o processo de envase. As entradas desta entidade no sistema estão com a mesma parametrização de entrada observada no modelo conceitual do sistema produtivo atual (cenário a) e estão evidenciadas no Quadro 6.2.

Observando o fluxo mapeado do processo desta entidade, pode-se perceber que não há diferença na cadeia produtiva até o envase e envio ao local “Estoque de semiacabado RJ”. Isto ocorre porque se entende que, efetivamente, até esta Etapa da cadeia, os sistemas são perfeitamente similares, independente de onde será realizada a expedição para comercialização do produto-acabado.

Neste cenário, a entidade permanece aguardando no local “Estoque de semiacabado RJ” até ser movimentada para o local “Expedição IT”. O local Expedição IT ilustra o local físico, na unidade de Itatiaia, aonde a entidade Cefalosporinas chega. A transferência entre as unidades do Rio de Janeiro e Itatiaia é realizada por um caminhão que percorre uma distância de 185

km a uma velocidade média de 50 km/h e, segundo dados coletados na indústria, este movimento incrementa um custo à entidade de R\$ 631,54.

No local “Expedição IT”, a entidade é conferida e, posteriormente, movimentada para o local “Estoque de semiacabado IT”. A atividade de conferência dura 20 minutos. A movimentação do local “Expedição IT” até o local “Estoque de semiacabado IT” tem um tempo de 5 minutos. A entidade Cefalosporinas permanece estocada, aguardando até ser movimentada para o local “Embalagem IT”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,4 minutos e intervalo médio de 2,4 minutos.

No local “Embalagem IT”, é realizada a operação de embalagem de todo o lote da entidade Cefalosporinas. Parte-se da premissa de que a duração dos tempos de embalagem para cada produto de categoria Cefalosporinas serão os mesmos nas duas configurações do sistema produtivo, portanto serão conforme apresentado na Tabela 6.3.

O processo de embalagem incrementa um custo variável, proporcional ao tempo da atividade de embalagem. Segundo dados coletados na indústria, este custo variável, no formato de uma tarifa/hora está no valor médio de R\$ 258,67. Esta tarifa é obtida pela soma de todos os custos indiretos e de mão de obra alocados ao centro de custo do local e dividido pelo tempo padrão dos apontamentos de produção durante os meses de Janeiro a Outubro de 2016. Pode-se observar que a tarifa/hora do local “Embalagem IT” é inferior ao valor da tarifa/hora do local “Embalagem TR” e isto se dá pelo menor valor que seria absorvido de custos relativo à sua estrutura.

Ao término da atividade de embalagem, a entidade é movimentada até o local “Estoque de produto-acabado IT”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,45 minutos e intervalo médio de 2,45 minutos. No local “Estoque de produto-acabado IT”, a entidade fica disponível para comercialização. Contudo, para que ocorra a expedição destes produtos a entidade precisa ser transferida para o local “Expedição IT”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,45 minutos e intervalo médio de 2,45 minutos. No local “Expedição IT”, a entidade fica disponível para ser distribuída em todo o território brasileiro.

Nesta configuração do sistema, como os produtos serão expedidos a partir da unidade de Itaitiaia, a comercialização será tributada a alíquota de ICMS de 7%, 12%, 20% ou 0% (quando comercializado para a zona franca de Manaus), dependendo de qual será a Unidade Federativa destino do produto. Neste cenário (b), adotou-se como premissa a manutenção dos preços do cenário (a) anterior. Obviamente, há uma variação acerca dos locais dos clientes de destino. Esta variação é uma distribuição probabilística discreta e se altera a cada mês. Na Tabela 6.13, são apresentadas as distribuições probabilísticas das alíquotas de ICMS para cada mês de operação analisado.

Tabela 6.13: Distribuições probabilísticas das alíquotas de ICMS para cada mês de operação da entidade Cefalosporinas.

Mês \ Alíquota	7%	12%	20%	0%
Janeiro	63,10%	29,10%	4,21%	3,59%
Fevereiro	73,63%	23,93%	0,26%	2,18%
Março	56,47%	41,54%	0,35%	1,64%
Abril	52,98%	41,42%	2,88%	2,72%
Mai	61,97%	32,86%	2,72%	2,45%
Junho	59,99%	38,25%	1,19%	0,57%
Julho	69,23%	29,66%	0,31%	0,80%
Agosto	60,30%	38,56%	0,94%	0,20%
Setembro	57,21%	39,66%	2,33%	0,80%
Outubro	50,64%	43,41%	4,65%	1,30%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6.7, é ilustrado o fluxo da cadeia do produto de categoria Carbapenemas que é envasado na unidade do Rio de Janeiro e, pela configuração do sistema produtivo proposto, para análise comparativa de compensação de custos, também é enviado até a unidade de Itatiaia para ser embalado e disponibilizado para a comercialização.

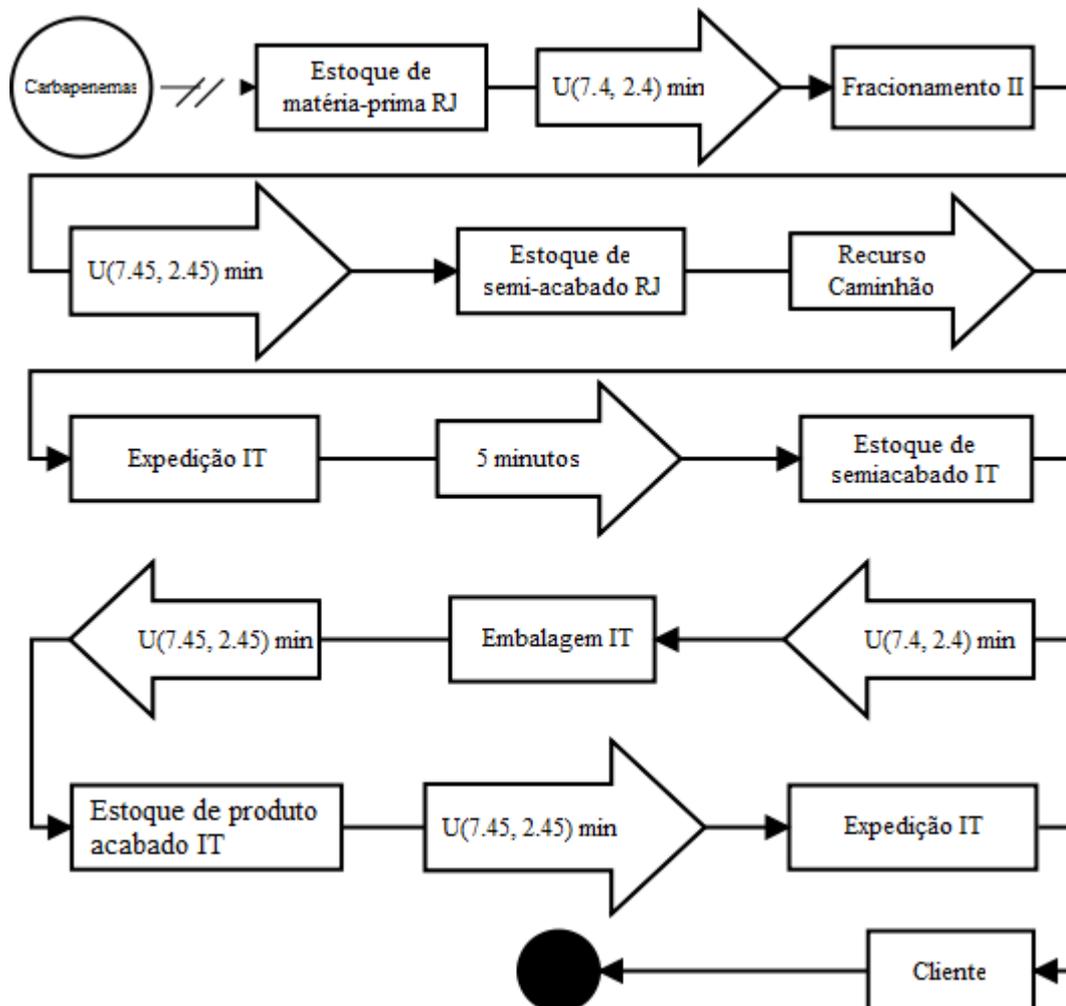


Figura 6.7: Fluxo no cenário (b) da cadeia do produto de categoria Carbapenemas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste cenário, a entidade Carbapenemas também entra no sistema sendo direcionado ao local “Estoque de matéria-prima RJ”, na unidade do Rio de Janeiro, aguardando serem consumidas durante o processo de envase. As entradas desta entidade no sistema estão com a mesma parametrização de entrada observada no modelo conceitual do sistema produtivo atual (cenário a) e estão evidenciadas no Quadro 6.4.

Observando o fluxo mapeado do processo desta entidade, pode-se perceber que não há diferença na cadeia produtiva até o envase e envio ao local “Estoque de semiacabado RJ”. Isto ocorre porque se entende que, até esta etapa da cadeia, os sistemas são perfeitamente similares, independente de onde será realizada a expedição para comercialização do produto-acabado.

Neste cenário, a entidade permanece aguardando no local “Estoque de semiacabado RJ” até ser movimentada para o local “Expedição IT”. A transferência entre as unidades do Rio de Janeiro e de Itatiaia é realizada por um caminhão que percorre uma distância de 185 km a uma velocidade média de 50 km/h e, segundo dados coletados na indústria, este movimento incrementa um custo à entidade de R\$ 631,54.

No local “Expedição IT”, a entidade é conferida e, posteriormente, movimentada para o local “Estoque de semiacabado IT”. A atividade de conferência dura 20 minutos. A movimentação do local “Expedição IT” até o local “Estoque de semiacabado IT” tem um tempo de 5 minutos. A entidade Carbapenemas permanece estocada, aguardando até ser movimentada para o local “Embalagem IT”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,4 minutos e intervalo médio de 2,4 minutos.

No local “Embalagem IT”, é realizada a operação de embalagem de todo o lote da entidade Carbapenemas. Parte-se da premissa de que a duração dos tempos de embalagem para cada produto de categoria Carbapenemas serão os mesmos nas duas configurações do sistema produtivo, portanto, serão conforme apresentado na Tabela 6.7. E, assim como é para a entidade Cefalosporinas, a operação de embalagem também incrementa um custo variável à entidade Carbapenemas, proporcional ao tempo consumido na operação, sobre o mesmo valor da tarifa/hora de R\$ 258,67.

Ao término do processo de embalagem, a entidade Carbapenemas é movimentada até o local “Estoque de produto-acabado IT”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,45 minutos e intervalo médio de 2,45 minutos. No local “Estoque de produto-acabado IT”, a entidade fica disponível para comercialização. Contudo, para que ocorra a expedição destes produtos, a entidade precisa ser transferida para o local “Expedição IT”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,45 minutos e intervalo médio de 2,45 minutos. No local “Expedição IT”, a entidade fica disponível para ser distribuída em todo o território brasileiro.

Nesta configuração do sistema, a comercialização será tributada a alíquota de ICMS de 7%, 12%, 20% ou 0% (quando comercializado para a zona franca de Manaus), dependendo de qual será a Unidade Federativa destino do produto. Neste cenário (b), adotou-se como premissa a manutenção dos preços do cenário anterior (a). Obviamente há uma variação acerca dos locais dos clientes de destino. Esta variação é uma distribuição probabilística discreta e se altera a cada mês. Na Tabela 6.14, são apresentadas as distribuições probabilísticas das alíquotas de ICMS para cada mês de operação analisado.

Tabela 6.14: Distribuições probabilísticas das alíquotas de ICMS para cada mês de operação da entidade Carbapenemas.

Mês \ Alíquota	7%	12%	20%	0%
Janeiro	46,03%	50,12%	2,52%	1,33%
Fevereiro	32,99%	61,74%	3,45%	1,82%
Março	45,06%	48,45%	2,24%	4,25%
Abril	34,51%	60,18%	4,50%	0,81%
Mai	33,01%	60,12%	6,16%	0,71%
Junho	39,18%	50,83%	7,09%	2,60%
Julho	37,73%	56,06%	5,25%	0,96%
Agosto	43,45%	50,77%	5,71%	0,07%
Setembro	42,03%	38,48%	17,79%	1,70%
Outubro	51,08%	45,54%	2,60%	0,78%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6.8, é ilustrado o fluxo da cadeia do produto de categoria Anestésico que é envasado na unidade de Itatiaia e, pela configuração do sistema produtivo proposto para análise comparativa de compensação de custos, também é embalado e disponibilizado para a comercialização nesta mesma unidade fabril.

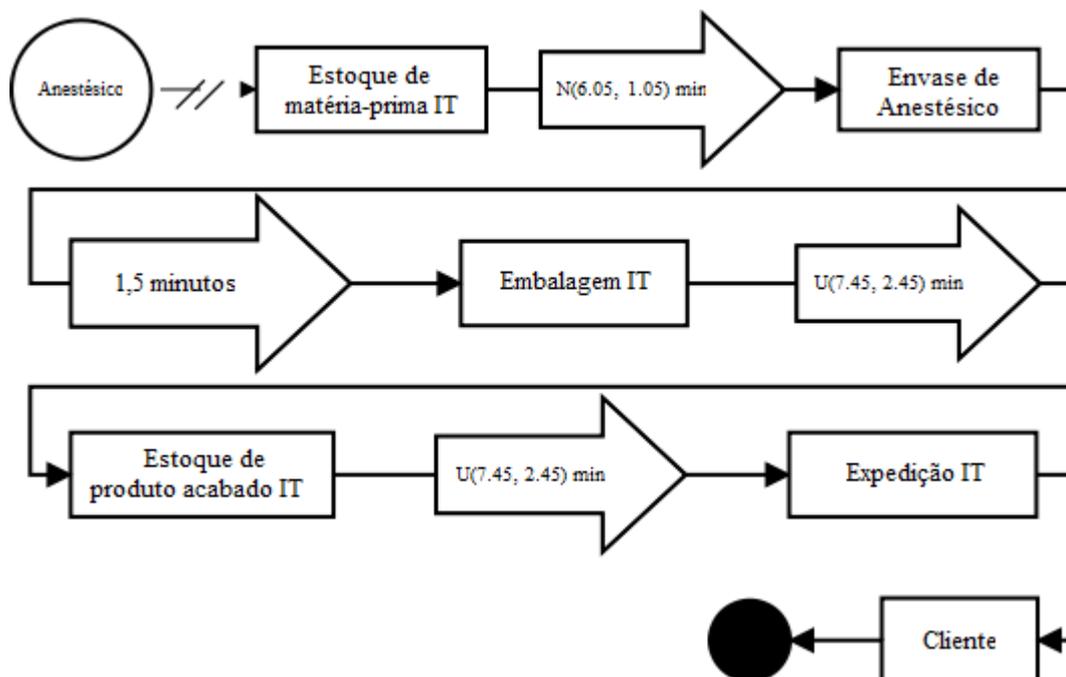


Figura 6.8: Fluxo no cenário (b) da cadeia do produto de categoria Anestésico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste cenário, a entidade Anestésico entra no sistema sendo direcionado ao local “Estoque de matéria-prima IT”, na unidade de Itatiaia, aguardando serem consumidas durante o processo de envase. As entradas desta entidade no sistema estão com a mesma parametrização de entrada observada no modelo conceitual do sistema produtivo atual (cenário a) e estão evidenciadas no Quadro 6.6.

Observando o fluxo mapeado do processo desta entidade, pode-se perceber que há diferença na cadeia produtiva, no qual, após a operação de envase, a entidade é movimentada diretamente ao local “Embalagem IT”, consumindo um tempo para esta movimentação de 1,5 minutos. Isto ocorre porque se entende que, neste sistema, o fluxo de produção desta entidade é continuado, sem a necessidade de haver o processo de estocagem entre as fases de fabricação. Contudo, também se entende que os tempos das operações, tanto de envase quanto de embalagem são os mesmos nas duas configurações do sistema produtivo.

O processo de embalagem incrementa um custo variável, proporcional ao tempo da atividade de embalagem, custando à tarifa/hora média de R\$ 258,67. Ao término do processo de embalagem, a entidade é movimentada até o local “Estoque de produto-acabado IT”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,45 minutos e intervalo médio de 2,45 minutos.

Para que ocorra a expedição dos produtos, a entidade é movimentada do local “Estoque de produto-acabado IT” para o local “Expedição IT”. Este movimento tem um tempo baseado em uma distribuição probabilística uniforme com média de 7,45 minutos e intervalo médio de 2,45 minutos. No local “Expedição IT”, a entidade está disponível para ser distribuída em todo o território brasileiro.

Nesta configuração do sistema, a comercialização do produto será tributada a alíquota de ICMS de 7%, 12%, 20% ou 0% (quando comercializado para a zona franca de Manaus), dependendo de qual será a Unidade Federativa destino do produto. Neste cenário (b), adotou-se como premissa a manutenção dos preços do cenário anterior (a). Obviamente há uma variação acerca dos locais dos clientes de destino. Esta variação é uma distribuição probabilística discreta e se altera a cada mês. Na Tabela 6.15, é apresentada as distribuições probabilísticas das alíquotas de ICMS para cada mês de operação analisado.

Tabela 6.15: Distribuições probabilísticas das alíquotas de ICMS para cada mês de operação da entidade Anestésico.

Mês \ Alíquota	7%	12%	20%	0%
Janeiro	26,66%	70,52%	2,82%	0,00%
Fevereiro	44,48%	49,56%	5,32%	0,64%
Março	42,93%	54,37%	2,38%	0,32%
Abril	49,00%	44,95%	4,13%	1,92%
Mai	52,22%	44,70%	2,22%	0,86%
Junho	36,37%	54,94%	7,35%	1,34%

Tabela 6.15: Distribuições probabilísticas das alíquotas de ICMS para cada mês de operação da entidade Anestésico.

Mês \ Alíquota	7%	12%	20%	0%
Julho	34,57%	56,55%	8,47%	0,41%
Agosto	41,35%	52,30%	6,35%	0,00%
Setembro	42,00%	52,45%	4,41%	1,14%
Outubro	28,10%	64,54%	4,88%	2,48%

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.1.5 Validação do modelo conceitual

Após o desenvolvimento do modelo conceitual, foi necessário realizar a validação deste modelo. Para o cumprimento desta Etapa, foram utilizadas duas técnicas, que são: validação de face e validação de traço. Para a realização da validação de face, foi feito o questionamento direto com três executivos da indústria pesquisada sobre se o modelo realmente representa a configuração do sistema real e a configuração do sistema proposto.

Após a confirmação da aderência do modelo com relação aos dois sistemas avaliados pela validação de face, foi realizada a validação de traço. Essa validação ocorreu em duas Etapas, que foram: (1) percorrer a estrutura da empresa de forma a rastrear o comportamento das entidades no sistema, avaliando a aderência com o modelo desenvolvido; (2) analisar os dados coletados das documentações e registros da indústria para identificar as datas, os valores gastos, os tempos de apontamento das operações de produção e os valores de faturamento e de tributos apurados sobre as operações de vendas das entidades, com o objetivo de garantir que estes dados coletados em campo sejam aderentes aos documentos da empresa.

6.1.6 Documentação do modelo conceitual

Após a confirmação da razoabilidade acerca da aderência entre o modelo conceitual e as configurações dos sistemas analisados, parte-se para o registro da documentação do modelo conceitual. Para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, esta Etapa, que no fluxo do procedimento metodológico, Figura 5.1, corresponde à Etapa 1.6, está evidenciado em toda a Seção 6.1.4. A importância dada a esta Etapa é a de que esta documentação servirá de base para o desenvolvimento do modelo computacional e sua verificação e validação (etapas estas que compõem a fase de desenvolvimento).

6.2 Fase de desenvolvimento

Na fase de desenvolvimento, é efetivamente desenvolvido o modelo computacional no qual o produto final é a documentação deste modelo para, posteriormente, serem realizadas as execuções dos experimentos de simulação. Esta fase é estratificada em cinco Etapas que são: (1) escolher a ferramenta de simulação; (2) desenvolvimento do modelo computacional; (3) verificação do modelo computacional; (4) validação do modelo computacional; e (5) documentação do modelo computacional. Nos próximos parágrafos, são descritas detalhadamente cada uma destas Etapas.

6.2.1 Escolher a ferramenta de simulação

Esta Etapa do estudo é detalhada no Capítulo 4 deste trabalho de pesquisa. Foi realizada uma análise utilizando o método AHP para comparar três opções de *software* de simulação. Os *softwares* comparados foram: Arena®; ProModel®; e @Risk®. A base para a comparação foi à estruturação de critérios que foram identificados com base em pesquisa bibliográfica e que tiveram os pesos das suas importâncias ponderados hierarquicamente com base no levantamento com especialistas. Utilizando esta metodologia, concluiu-se que o *software* ProModel® é a ferramenta mais adequada para o desenvolvimento do modelo computacional e para a execução do experimento de simulação.

6.2.2 Desenvolvimento do modelo computacional

Na sequência, é apresentado o desenvolvimento do modelo computacional elaborado a partir do *software* ProModel®. Nesta Etapa, é detalhada a construção do modelo com base nos elementos que compõe o contexto da modelagem com este *software*. A construção deste modelo computacional seguirá a estrutura apresentada na Seção 6.1.4. Nesta Etapa, o desenvolvimento do modelo computacional é uma transcrição do modelo conceitual no *software* ProModel®. E a verificação quanto ao cumprimento desta Etapa será justamente a avaliação se o modelo computacional reflete os comportamentos descritos no modelo conceitual.

Primeiramente, são parametrizadas no ProModel® as informações gerais. A caixa de diálogo “Informações Gerais” permite que sejam especificadas informações básicas sobre um modelo, como seu nome, unidades de tempo padrão, unidades de distância padrão e biblioteca gráfica. Também se pode especificar a lógica de inicialização e finalização do modelo. E, por fim, é disponibilizada uma janela de notas para especificar detalhes de um modelo, como o nome do modelador, a data de revisão e as hipóteses de modelagem.

No campo de Informações Gerais, foram parametrizados os seguintes elementos: Título do modelo; Biblioteca Gráfica utilizada; Unidades padrão de tempo e distância. O título dado ao modelo foi PESQUISA_MESTRADO. A biblioteca gráfica utilizada foi a PROMOD.GLB e as unidades padrão foram minutos, para tempo, e metros, para distância. A Figura 6.9 ilustra a parametrização da Informação Geral do modelo.

Figura 6.9: Parametrização da Informação Geral do modelo no ProModel®.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência, são criados os locais do modelo. Os locais representam lugares no sistema onde as entidades são encaminhadas para processamento, armazenamento ou alguma outra atividade ou tomada de decisão. Os locais devem ser utilizados para modelar elementos como locais de entrega, locais de armazém, servidores de rede e centros de processamento de transações. No Quadro 6.7, são apresentados os locais criados neste modelo computacional.

Quadro 6.7: Locais criados no *software* ProModel®.

Nome no modelo do ProModel	Nome no modelo conceitual	Capacidade	Paradas	Regras
Estq_SA_3R	Estoque de semiacabado TR	⁽¹⁾ mCap_Estq_SA_3R	Nenhuma	⁽²⁾ O mais velho
Embalagem_3R	Embalagem TR	⁽³⁾ mCap_Embalagem_3R	Nenhuma	O mais velho
Estq_PA_3R	Estoque de produto-acabado TR	⁽⁴⁾ mCap_Estq_PA_3R	Nenhuma	O mais velho
Expedição_3R	Expedição TR	100	Nenhuma	O mais velho
Estq_MP_RJ	Estoque de matéria-prima RJ	191	Nenhuma	O mais velho
Fra_I	Fracionamento I	1	Setup	O mais velho
Estq_SA_RJ	Estoque de semiacabado RJ	191	Nenhuma	O mais velho
Fra_II	Fracionamento II	1	Setup	O mais velho
Estq_MP_ITA	Estoque de matéria-prima IT	204	Nenhuma	O mais velho
Anest	Envase de anestésico	1	Setup	O mais velho
Estq_SA_ITA	Estoque de semiacabado IT	204	Nenhuma	O mais velho
Cliente_07	⁽⁵⁾ Cliente	Infinito	Nenhuma	O mais velho
Cliente_12	⁽⁶⁾ Cliente	Infinito	Nenhuma	O mais velho
Cliente_20	⁽⁷⁾ Cliente	Infinito	Nenhuma	O mais velho
Cliente_SU	⁽⁸⁾ Cliente	Infinito	Nenhuma	O mais velho
Expedição_ITA	Expedição IT	204	Nenhuma	O mais velho

Quadro 6.7: Locais criados no *software* ProModel®.

Nome no modelo do ProModel	Nome no modelo conceitual	Capacidade	Paradas	Regras
Estq_PA_ITA	Estoque de produto-acabado IT	⁽⁹⁾ mCap_Estq_PA_ITA	Nenhuma	O mais velho
Embalagem_ITA	Embalagem IT	⁽¹⁰⁾ mCap_Embalagem_ITA	Nenhuma	O mais velho
Chave	⁽¹¹⁾	⁽¹²⁾ mChave	Nenhuma	O mais velho

⁽¹⁾ Macro criado para execução do experimento de simulação e que define a capacidade como uma quantidade que varia entre 0 e 64.

⁽²⁾ É dada a prioridade de operação à entidade mais antiga no local.

⁽³⁾ Macro criado para execução do experimento de simulação e que define a capacidade como uma quantidade que varia entre 0 e 1.

⁽⁴⁾ Macro criado para execução do experimento de simulação e que define a capacidade como uma quantidade que varia entre 0 e 65.

⁽⁵⁾ Local para onde serão roteadas as entidades faturadas para os clientes com alíquota de ICMS de 7%.

⁽⁶⁾ Local para onde serão roteadas as entidades faturadas para os clientes com alíquota de ICMS de 12%.

⁽⁷⁾ Local para onde serão roteadas as entidades faturadas para os clientes com alíquota de ICMS de 20%.

⁽⁸⁾ Local para onde serão roteadas as entidades faturadas para os clientes com alíquota de ICMS de 0% (zona franca de Manaus).

⁽⁹⁾ Macro criado para execução do experimento de simulação e que define a capacidade como uma quantidade que varia entre 0 e 240.

⁽¹⁰⁾ Macro criado para execução do experimento de simulação e que define a capacidade como uma quantidade que varia entre 0 e 1.

⁽¹¹⁾ Este local não existe no modelo conceitual e foi criado apenas no ProModel® para servir de artifício na execução do experimento de simulação. Não serão transitadas entidades neste local.

⁽¹²⁾ Macro criado para execução do experimento de simulação e que define a capacidade como uma quantidade que varia entre 1 e 99.

Fonte: Elaborado pelo autor.

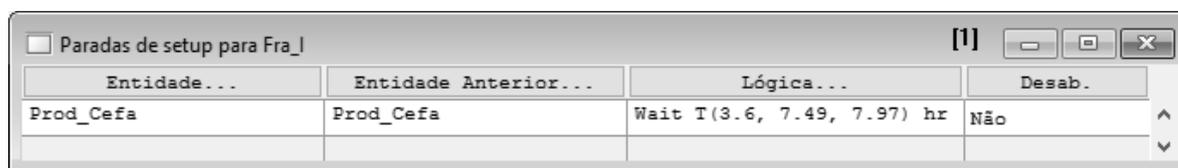
Para os locais Fra_I, Fra_II e Anest, foram parametrizadas paradas para setup conforme descrito na Tabela 6.16.

Tabela 6.16: Paradas de *setup* dos locais.

Local	Entidade	Entidade Anterior	Lógica de operação
Fra_I	Prod_Cefa	Prod_Cefa	T(3.6, 7.49, 7.97) hr
Fra_II	Prod_Carba	Prod_Carba	T(3.51, 7.95, 7.95) hr
Anest	Prod_Anest	Prod_Anest	U(16.5, 14.5) hr

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6.10, é ilustrada a parametrização da parada por *setup* do local Fra_I, conforme apresentado na Tabela 6.16.

Figura 6.10: Parametrização da parada por *setup* no local Fra_I.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a criação dos locais, o próximo passo foi criar as entidades. A entidade é uma representação, no *software* ProModel®, dos produtos e materiais que são processados no sistema. Foram criadas três entidades que são: “Prod_Cefa”, que corresponde aos produtos de categoria Cefalosporinas; “Prod_Carba”, que representa os produtos de categoria Carbapenemas; e “Prod_Anest”, representando os produtos de categoria Anestésico. Estas três

entidades utilizaram a imagem gráfica “Barril” como gráfico 1 e “Caixa” como gráfico 2. Na Figura 6.11, é ilustrada a parametrização das entidades.

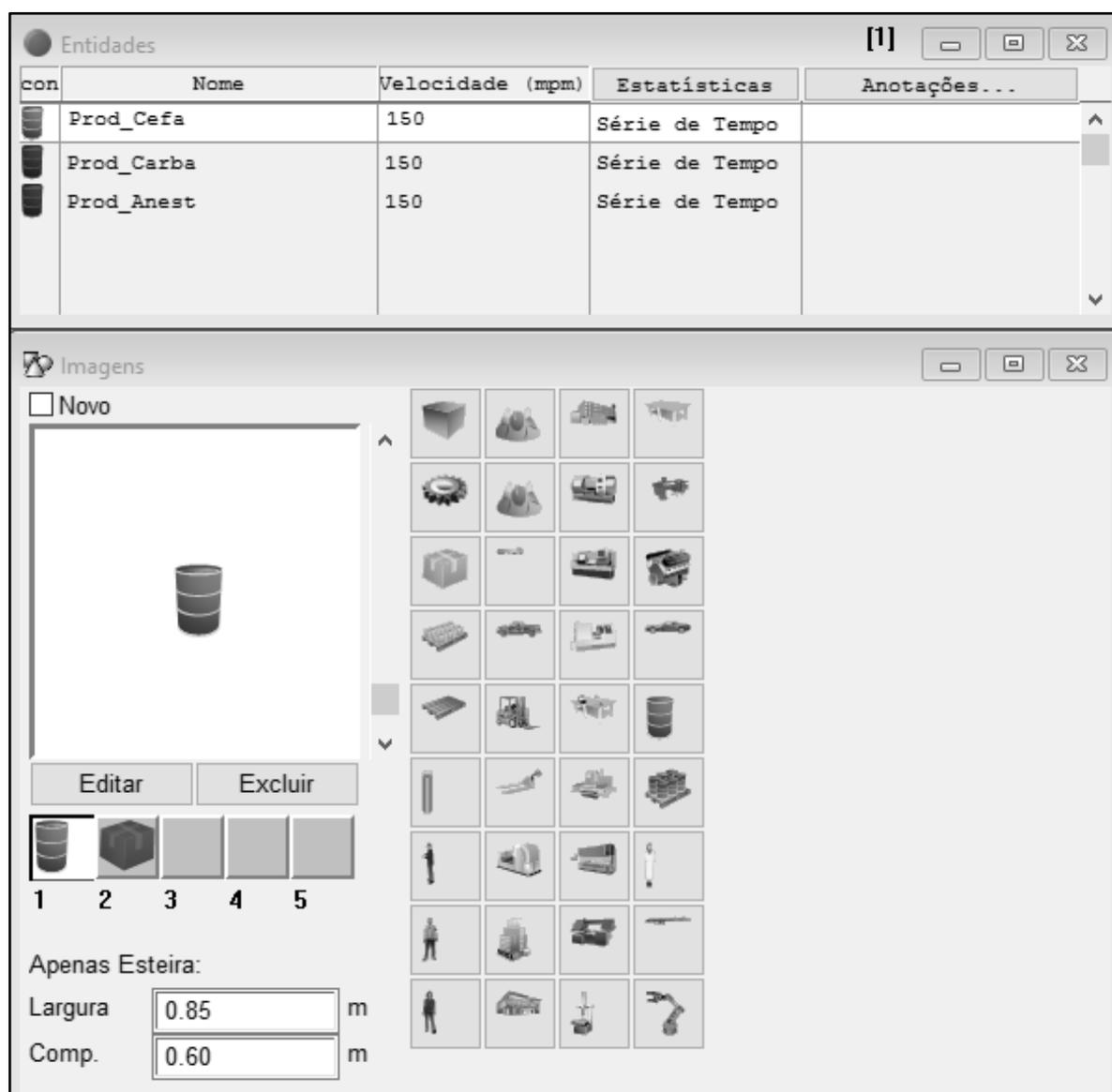


Figura 6.11: Parametrização das entidades no ProModel®.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A próxima etapa foi parametrizar as redes de caminho. Quando os recursos são modelados como recursos dinâmicos que viajam entre locais, eles seguem redes de caminho. As entidades que se movem por si mesmas entre locais também podem se mover em redes de caminho se forem referenciadas na lógica de movimento do roteamento. Caso contrário, eles seguem o caminho de roteamento. Múltiplas entidades e recursos podem compartilhar uma rede de caminho comum. O movimento ao longo de uma rede de caminho pode ser definido em termos de velocidade e distância, ou simplesmente por tempo.

Foi criada uma única rede de caminho, com o objetivo de interligar as três unidades fabris da indústria pesquisada. Portanto, criou-se três nós que fazer interface com os seguintes locais: nó RJ faz interface com o local Estq_SA_RJ; nó IT faz interface com o local Expedição_IT; e nó TR que faz interface com o local Estq_SA_TR. Todos os nós estão interligados nos quais os caminhos possuem a seguinte distância: de RJ para TR são 135.000 metros; de TR para IT são 183.000 metros; e de IT para RJ são 185.000 metros. Na Figura 6.12, é ilustrada a disposição da rede de caminho.

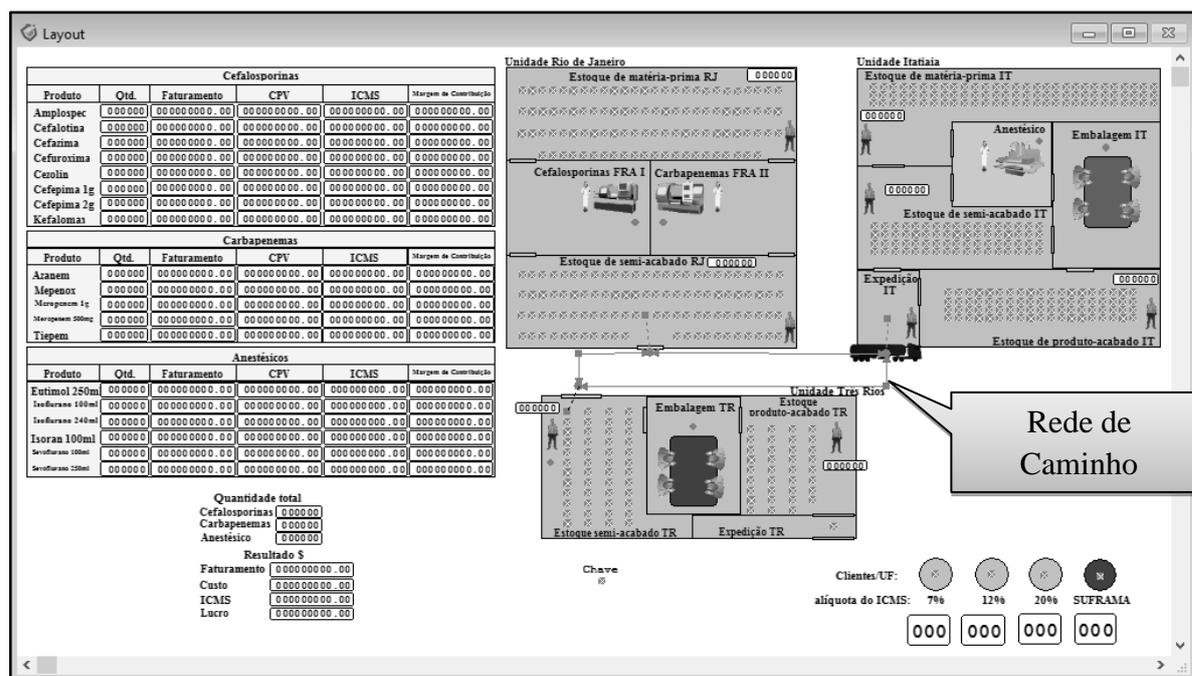


Figura 6.12: *Layout* do modelo com a disposição da rede de caminho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência, foram parametrizados os recursos. No ProModel®, um recurso é uma pessoa, equipamento ou algum outro dispositivo utilizado para uma ou mais das seguintes funções: transportar entidades, auxiliar na realização de operações em entidades em locais, realizar manutenção em locais ou realizar manutenção em outros recursos. Os recursos consistem em uma ou mais unidades com características comuns, como um grupo de técnicos de serviço ou uma frota de caminhões. Os recursos podem ser dinâmicos, o que significa que eles se movem ao longo de uma rede de caminho, ou estática, na qual não ocorre nenhum movimento.

No modelo desenvolvido, o único recurso parametrizado foi o Caminhão. Foram definidas duas unidades, pois a indústria em questão possui dois caminhões de mesma marca, modelo e capacidade de carga. Não foi definido nenhum parâmetro de parada para este recurso. Para a obtenção dos dados estatísticos, foi parametrizada a definição por unidade e por série de tempo. As especificações definidas foram as seguintes: recurso se movimenta pela única rede de caminho existente denominada Rede; a base em que o recurso fica aguardando para a operação é o nó IT e sempre que ele permanece ocioso ele retorna a base; a velocidade média

do recurso é de 838 metros por minuto, tanto cheio quanto vazio. Na Figura 6.13, são apresentadas as especificações conforme foram parametrizadas.

Figura 6.13: Especificações parametrizadas para o recurso Caminhão no ProModel®.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O próximo passo foi parametrizar as chegadas das entidades no sistema. Sempre que novas entidades são introduzidas no sistema, é chamado de chegada. Um registro de chegada é definido especificando as seguintes informações: (a) número de novas entidades por chegada; (b) frequência das chegadas; (c) localização da chegada; (d) momento da primeira chegada; (e) total das ocorrências da chegada. As chegadas foram parametrizadas conforme a Tabela 6.17.

Tabela 6.17: Chegadas das entidades no ProModel®.

Entidade	Local	Quantidade	Primeira vez	Ocorrência	Frequência	Lógica
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	9	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 2
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	2	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 3
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 4
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	6	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 5
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	3	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 6
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	4	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 7
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	10	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	12/01/2016 12:19	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	2	12/01/2016 12:19	1	0	aProd = 5
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	28/01/2016 12:35	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	28/01/2016 12:35	1	0	aProd = 6
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	28/01/2016 12:35	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	28/01/2016 12:35	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	3	11/02/2016 10:24	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	11/02/2016 10:24	1	0	aProd = 2
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	11/02/2016 10:24	1	0	aProd = 3
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	11/02/2016 10:24	1	0	aProd = 4

Tabela 6.17: Chegadas das entidades no ProModel®.

Entidade	Local	Quantidade	Primeira vez	Ocorrência	Frequência	Lógica
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	2	11/02/2016 10:24	1	0	aProd = 5
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	11/02/2016 10:24	1	0	aProd = 6
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	2	11/02/2016 10:24	1	0	aProd = 7
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	3	11/02/2016 10:24	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	2	12/03/2016 09:40	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	12/03/2016 09:40	1	0	aProd = 5
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	2	12/03/2016 09:40	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	2	03/05/2016 07:50	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	03/05/2016 07:50	1	0	aProd = 5
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	03/05/2016 07:50	1	0	aProd = 7
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	2	03/05/2016 07:50	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	10/05/2016 07:28	1	0	aProd = 2
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	10/05/2016 07:28	1	0	aProd = 6
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	14/05/2016 10:32	1	0	aProd = 3
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	14/05/2016 10:32	1	0	aProd = 5
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	14/05/2016 10:32	1	0	aProd = 7
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	25/05/2016 09:08	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	2	25/05/2016 09:08	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	2	16/06/2016 09:41	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	2	16/06/2016 09:41	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	29/06/2016 08:27	1	0	aProd = 3
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	29/06/2016 08:27	1	0	aProd = 5
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	29/06/2016 08:27	1	0	aProd = 6
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	05/07/2016 08:34	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	05/07/2016 08:34	1	0	aProd = 5
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	05/07/2016 08:34	1	0	aProd = 7
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	05/07/2016 08:34	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	13/07/2016 07:38	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	13/07/2016 07:38	1	0	aProd = 3
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	13/07/2016 07:38	1	0	aProd = 5
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	13/07/2016 07:38	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	19/07/2016 08:26	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	19/07/2016 08:26	1	0	aProd = 5
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	19/07/2016 08:26	1	0	aProd = 7
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	19/07/2016 08:26	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	03/08/2016 05:30	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	17/08/2016 04:14	1	0	aProd = 6
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	2	30/08/2016 08:42	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	31/08/2016 05:20	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	08/09/2016 10:08	1	0	aProd = 1
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	08/09/2016 10:08	1	0	aProd = 5
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	08/09/2016 10:08	1	0	aProd = 7
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	08/09/2016 10:08	1	0	aProd = 8
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	16/09/2016 07:28	1	0	aProd = 6
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	28/09/2016 03:32	1	0	aProd = 2
Prod_Cefa	Estq_MP_RJ	1	28/09/2016 03:32	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 2
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	5	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	4	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 5
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	30/01/2016 09:04	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	30/01/2016 09:48	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	04/02/2016 04:04	1	0	aProd = 3

Tabela 6.17: Chegadas das entidades no ProModel®.

Entidade	Local	Quantidade	Primeira vez	Ocorrência	Frequência	Lógica
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	04/02/2016 04:04	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	04/02/2016 04:35	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	04/02/2016 04:35	1	0	aProd = 5
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	24/02/2016 09:18	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	24/02/2016 09:18	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	09/03/2016 03:50	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	09/03/2016 03:50	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	09/03/2016 03:50	1	0	aProd = 5
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	22/03/2016 09:15	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	22/03/2016 09:15	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	3	19/04/2016 07:29	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	3	19/04/2016 07:29	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	3	12/05/2016 07:15	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	3	18/05/2016 09:00	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	18/05/2016 09:00	1	0	aProd = 5
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	3	09/06/2016 01:46	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	10/06/2016 10:24	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	6	21/06/2016 06:05	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	29/06/2016 07:19	1	0	aProd = 1
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	29/06/2016 07:19	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	29/06/2016 07:19	1	0	aProd = 5
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	3	15/07/2016 03:40	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	15/07/2016 03:40	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	15/07/2016 08:36	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	21/07/2016 09:27	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	28/07/2016 10:15	1	0	aProd = 5
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	17/08/2016 08:29	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	29/08/2016 10:15	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	31/08/2016 05:14	1	0	aProd = 5
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	3	09/09/2016 09:04	1	0	aProd = 3
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	09/09/2016 09:04	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	20/09/2016 04:52	1	0	aProd = 5
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	23/09/2016 04:28	1	0	aProd = 5
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	2	23/09/2016 09:46	1	0	aProd = 4
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	28/09/2016 03:17	1	0	aProd = 1
Prod_Carba	Estq_MP_RJ	1	28/09/2016 03:17	1	0	aProd = 2
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	01/01/2016 08:00	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	09/01/2016 10:16	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	20/01/2016 01:34	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	04/02/2016 03:21	1	0	aProd = 5
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	12/02/2016 10:17	1	0	aProd = 2
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	12/02/2016 10:17	1	0	aProd = 3
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	12/02/2016 10:17	1	0	aProd = 5
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	12/02/2016 10:17	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	17/02/2016 12:59	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	08/03/2016 01:43	1	0	aProd = 2
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	08/03/2016 01:43	1	0	aProd = 5
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	3	08/03/2016 01:43	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	24/03/2016 11:25	1	0	aProd = 1
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	31/03/2016 12:38	1	0	aProd = 2
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	31/03/2016 12:38	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	04/04/2016 10:59	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	3	12/05/2016 01:31	1	0	aProd = 2

Tabela 6.17: Chegadas das entidades no ProModel®.

Entidade	Local	Quantidade	Primeira vez	Ocorrência	Frequência	Lógica
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	12/05/2016 01:31	1	0	aProd = 5
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	25/05/2016 08:57	1	0	aProd = 2
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	3	25/05/2016 08:57	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	09/06/2016 12:40	1	0	aProd = 2
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	09/06/2016 12:40	1	0	aProd = 3
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	09/06/2016 12:40	1	0	aProd = 5
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	09/06/2016 12:40	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	27/06/2016 01:13	1	0	aProd = 5
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	27/06/2016 01:13	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	30/06/2016 09:27	1	0	aProd = 2
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	30/06/2016 09:27	1	0	aProd = 3
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	30/06/2016 09:27	1	0	aProd = 4
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	30/06/2016 09:27	1	0	aProd = 5
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	11/07/2016 08:47	1	0	aProd = 5
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	11/07/2016 08:47	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	04/08/2016 09:14	1	0	aProd = 2
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	04/08/2016 09:14	1	0	aProd = 5
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	15/08/2016 09:05	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	05/09/2016 08:51	1	0	aProd = 2
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	05/09/2016 08:51	1	0	aProd = 3
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	19/09/2016 09:38	1	0	aProd = 2
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	19/09/2016 09:38	1	0	aProd = 5
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	19/09/2016 09:38	1	0	aProd = 6
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	22/09/2016 09:15	1	0	aProd = 2
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	21/10/2016 08:33	1	0	aProd = 3
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	1	22/10/2016 08:16	1	0	aProd = 2
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	3	22/10/2016 08:16	1	0	aProd = 5
Prod_Anest	Estq_MP_ITA	2	22/10/2016 08:16	1	0	aProd = 6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência, são parametrizados os atributos de entidades. Os atributos de entidade são uma construção que permite ao modelador “marcar” entidades com características para distingui-las de outras entidades com mesmo nome. Os atributos de entidade são titulares de locais associados a entidades individuais, que geralmente contêm informações sobre essa entidade. Os atributos podem conter números inteiros ou reais. Os atributos criados são os seguintes: (a) aProd, tipo inteiro; (b) aCliente, tipo inteiro; (c) aCusto, tipo real; (d) aPreço, tipo real; e (e) aICMS, tipo real. Na Figura 6.14, são apresentados os atributos parametrizados no ProModel®.

Nome	Tipo	Classificação	Anotações...
aProd	Inteiro	Ent	
aCliente	Inteiro	Ent	
aCusto	Real	Ent	
aPreço	Real	Ent	
aICMS	Real	Ent	

Figura 6.14: Atributos parametrizados no ProModel®.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O passo seguinte foi parametrizar as variáveis globais. As Variáveis globais são detentores de lugar definidos pelo modelador para representar a mudança de valores numéricos. As variáveis podem conter números reais ou inteiros, incluindo valores de índice de elemento, e geralmente são usados para a tomada de decisões ou a gravação de informações. Uma variável global pode ser referenciada em qualquer lugar onde as expressões numéricas são permitidas em um modelo. No Quadro 6.8, são apresentadas todas as variáveis parametrizadas.

Quadro 6.8: Variáveis globais parametrizadas no modelo.

Nome	Tipo	Valor Inicial	Estatísticas	Nome	Tipo	Valor Inicial	Estatísticas
vTotal_Cefa	Inteiro	0	Série de Tempo	vICMS_Cefa1	Real	0	Série de Tempo
vTotal_Carba	Inteiro	0	Série de Tempo	vICMS_Cefa2	Real	0	Série de Tempo
vTotal_Anest	Inteiro	0	Série de Tempo	vICMS_Cefa3	Real	0	Série de Tempo
vFat_Total	Real	0	Série de Tempo	vICMS_Cefa4	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Total	Real	0	Série de Tempo	vICMS_Cefa5	Real	0	Série de Tempo
vICMS_Total	Real	0	Série de Tempo	vICMS_Cefa6	Real	0	Série de Tempo
vLucro	Real	0	Série de Tempo	vICMS_Cefa7	Real	0	Série de Tempo
vProd_Cefa1	Inteiro	0	Série de Tempo	vICMS_Cefa8	Real	0	Série de Tempo
vProd_Cefa2	Inteiro	0	Série de Tempo	vMC_Cefa1	Real	0	Série de Tempo
vProd_Cefa3	Inteiro	0	Série de Tempo	vMC_Cefa2	Real	0	Série de Tempo
vProd_Cefa4	Inteiro	0	Série de Tempo	vMC_Cefa3	Real	0	Série de Tempo
vProd_Cefa5	Inteiro	0	Série de Tempo	vMC_Cefa4	Real	0	Série de Tempo
vProd_Cefa6	Inteiro	0	Série de Tempo	vMC_Cefa5	Real	0	Série de Tempo
vProd_Cefa7	Inteiro	0	Série de Tempo	vMC_Cefa6	Real	0	Série de Tempo
vProd_Cefa8	Inteiro	0	Série de Tempo	vMC_Cefa7	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Cefa1	Real	0	Série de Tempo	vMC_Cefa8	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Cefa2	Real	0	Série de Tempo	vFat_Carba1	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Cefa3	Real	0	Série de Tempo	vFat_Carba2	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Cefa4	Real	0	Série de Tempo	vFat_Carba3	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Cefa5	Real	0	Série de Tempo	vFat_Carba4	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Cefa6	Real	0	Série de Tempo	vFat_Carba5	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Cefa7	Real	0	Série de Tempo	vICMS_Carba1	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Cefa8	Real	0	Série de Tempo	vICMS_Carba2	Real	0	Série de Tempo
vProd_Carba1	Inteiro	0	Série de Tempo	vICMS_Carba3	Real	0	Série de Tempo
vProd_Carba2	Inteiro	0	Série de Tempo	vICMS_Carba4	Real	0	Série de Tempo
vProd_Carba3	Inteiro	0	Série de Tempo	vICMS_Carba5	Real	0	Série de Tempo
vProd_Carba4	Inteiro	0	Série de Tempo	vMC_Carba1	Real	0	Série de Tempo
vProd_Carba5	Inteiro	0	Série de Tempo	vMC_Carba2	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Carba1	Real	0	Série de Tempo	vMC_Carba3	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Carba2	Real	0	Série de Tempo	vMC_Carba4	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Carba3	Real	0	Série de Tempo	vMC_Carba5	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Carba4	Real	0	Série de Tempo	vFat_Anest1	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Carba5	Real	0	Série de Tempo	vFat_Anest2	Real	0	Série de Tempo
vProd_Anest1	Inteiro	0	Série de Tempo	vFat_Anest3	Real	0	Série de Tempo
vProd_Anest2	Inteiro	0	Série de Tempo	vFat_Anest4	Real	0	Série de Tempo
vProd_Anest3	Inteiro	0	Série de Tempo	vFat_Anest5	Real	0	Série de Tempo
vProd_Anest4	Inteiro	0	Série de Tempo	vFat_Anest6	Real	0	Série de Tempo
vProd_Anest5	Inteiro	0	Série de Tempo	vICMS_Anest1	Real	0	Série de Tempo
vProd_Anest6	Inteiro	0	Série de Tempo	vICMS_Anest2	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Anest1	Real	0	Série de Tempo	vICMS_Anest3	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Anest2	Real	0	Série de Tempo	vICMS_Anest4	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Anest3	Real	0	Série de Tempo	vICMS_Anest5	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Anest4	Real	0	Série de Tempo	vICMS_Anest6	Real	0	Série de Tempo
vCusto_Anest5	Real	0	Série de Tempo	vMC_Anest1	Real	0	Série de Tempo

Quadro 6.8: Variáveis globais parametrizadas no modelo.

Nome	Tipo	Valor Inicial	Estatísticas	Nome	Tipo	Valor Inicial	Estatísticas
vCusto_Anest6	Real	0	Série de Tempo	vMC_Anest2	Real	0	Série de Tempo
vFat_Cefa1	Real	0	Série de Tempo	vMC_Anest3	Real	0	Série de Tempo
vFat_Cefa2	Real	0	Série de Tempo	vMC_Anest4	Real	0	Série de Tempo
vFat_Cefa3	Real	0	Série de Tempo	vMC_Anest5	Real	0	Série de Tempo
vFat_Cefa4	Real	0	Série de Tempo	vMC_Anest6	Real	0	Série de Tempo
vFat_Cefa5	Real	0	Série de Tempo	vZClient7	Inteiro	0	Série de Tempo
vFat_Cefa6	Real	0	Série de Tempo	vZClient12	Inteiro	0	Série de Tempo
vFat_Cefa7	Real	0	Série de Tempo	vZClient20	Inteiro	0	Série de Tempo
vFat_Cefa8	Real	0	Série de Tempo	vZClientSU	Inteiro	0	Série de Tempo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a parametrização das variáveis globais, o passo seguinte foi parametrizar os macros. Um macro é um suporte de lugar para uma expressão, conjunto de instruções e funções frequentemente utilizadas, ou qualquer texto que possa ser utilizado em um campo de expressão ou lógica. O nome do macro criado pode substituir o texto que representa um parâmetro em qualquer lugar do modelo e quantas vezes for necessário. Por exemplo, um macro criado pode substituir o texto da capacidade de um local, conforme foi aplicado neste modelo. No Quadro 6.9, são apresentadas os macros criados neste modelo e os seus parâmetros.

Quadro 6.9: Macros parametrizados no modelo.

Nome	Parâmetros de cenário	
	Texto	Intervalo numérico
mCap_Estq_SA_3R	Entre com a capacidade do estoque de semiacabado de Três Rios	De 0 Para 64
mCap_Embalagem_3R	Entre com a capacidade do setor de Embalagem de Três Rios	De 0 Para 1
mCap_Estq_PA_3R	Entre com a capacidade do Estoque de produto-acabado de Três Rios	De 0 Para 65
mCap_Embalagem_ITA	Entre com a capacidade do setor de Embalagem de Itatiaia	De 0 Para 1
mCap_Estq_PA_ITA	Entre com a capacidade do Estoque de produto-acabado de Itatiaia	De 0 Para 240
mChave	Define se a expedição será por Três Rios ou por Itatiaia. Três Rios: 99/ Itatiaia: 1	De 1 Para 99

Fonte: Elaborado pelo autor.

Todos os macros criados foram atribuídos a um local para determinar a capacidade do local durante a definição de cenários para o experimento de simulação. É possível identificar a respectiva relação de cada macro com cada local no Quadro 6.7.

A etapa seguinte foi parametrizar as distribuições de usuário. As distribuições de usuário especificam os parâmetros das distribuições de probabilidade definidas pelo usuário (empíricas), discretas ou contínuas. No presente modelo, todas as distribuições de usuário parametrizadas foram discretas. As distribuições discretas são caracterizadas por um conjunto finito de resultados, juntamente com a probabilidade de obter cada resultado. Tais distribuições, no modelo, serviram para descrever a probabilidade de uma entidade ser vendida para um cliente com uma tributação específica, sendo: 7%, 12%, 20% ou 0%, durante os meses de Janeiro a Outubro de 2016. Na Tabela 6.18, são apresentadas as distribuições de usuário parametrizadas no ProModel®.

Tabela 6.18: Distribuições de usuário parametrizadas no modelo.

Nome	Tipo	Cumulativa	Porcentagem	Valor	Nome	Tipo	Cumulativa	Porcentagem	Valor
uCefa_Cliente_01	Discreto	Não	63,1	20	uCarba_Cliente_06	Discreto	Não	39,18	80
			29,1	21				50,83	81
			4,21	22				7,39	82
			3,59	23				2,6	83
uCefa_Cliente_02	Discreto	Não	73,63	24	uCarba_Cliente_07	Discreto	Não	37,73	84
			23,93	25				56,06	85
			0,26	26				5,25	86
			2,18	27				0,96	87
uCefa_Cliente_03	Discreto	Não	56,47	28	uCarba_Cliente_08	Discreto	Não	43,45	88
			41,54	29				50,77	89
			0,35	30				5,71	90
			1,64	31				0,07	91
uCefa_Cliente_04	Discreto	Não	52,98	32	uCarba_Cliente_09	Discreto	Não	42,03	92
			41,42	33				38,48	93
			2,88	34				17,79	94
			2,72	35				1,7	95
uCefa_Cliente_05	Discreto	Não	61,97	36	uCarba_Cliente_10	Discreto	Não	51,08	96
			32,86	37				45,54	97
			2,72	38				2,6	98
			2,45	39				0,78	99
uCefa_Cliente_06	Discreto	Não	59,99	40	uAnest_Cliente_01	Discreto	Não	26,66	100
			38,25	41				70,52	101
			1,19	42				2,82	102
			0,57	43				0	103
uCefa_Cliente_07	Discreto	Não	69,23	44	uAnest_Cliente_02	Discreto	Não	44,48	104
			29,66	45				49,56	105
			0,31	46				5,32	106
			0,8	47				0,64	107
uCefa_Cliente_08	Discreto	Não	60,3	48	uAnest_Cliente_03	Discreto	Não	42,93	108
			38,56	49				54,37	109
			0,94	50				2,38	110
			0,2	51				0,32	111
uCefa_Cliente_09	Discreto	Não	57,21	52	uAnest_Cliente_04	Discreto	Não	49	112
			39,66	53				44,95	113
			2,33	54				4,13	114

Tabela 6.18: Distribuições de usuário parametrizadas no modelo.

Nome	Tipo	Cumulativa	Porcentagem	Valor	Nome	Tipo	Cumulativa	Porcentagem	Valor
			0,8	55				1,92	115
uCefa_Cliente_10	Discreto	Não	50,64	56	uAnest_Cliente_05	Discreto	Não	52,22	116
			43,41	57				44,7	117
			4,65	58				2,22	118
			1,3	59				0,86	119
			46,03	60				36,37	120
uCarba_Cliente_01	Discreto	Não	50,12	61	uAnest_Cliente_06	Discreto	Não	54,94	121
			2,52	62				7,35	122
			1,33	63				1,34	123
			32,99	64				34,57	124
uCarba_Cliente_02	Discreto	Não	61,74	65	uAnest_Cliente_07	Discreto	Não	56,55	125
			3,45	66				8,47	126
			1,82	67				0,41	127
			45,06	68				41,35	128
uCarba_Cliente_03	Discreto	Não	48,45	69	uAnest_Cliente_08	Discreto	Não	52,3	129
			2,24	70				6,35	130
			4,25	71				0	131
			34,51	72				42	132
uCarba_Cliente_04	Discreto	Não	60,18	73	uAnest_Cliente_09	Discreto	Não	52,45	133
			4,5	74				4,41	134
			0,81	75				1,14	135
			33,01	76				28,1	136
uCarba_Cliente_05	Discreto	Não	60,12	77	uAnest_Cliente_10	Discreto	Não	64,54	137
			6,16	78				4,88	138
			0,71	79				2,48	139

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Etapa seguinte na construção do modelo é a parametrização do custo dos locais. O custo do local reflete uma tarifa proporcional há um tempo, podendo ser segundo, minuto, hora ou dia, e serve para apropriar um determinado valor de custo a uma entidade, quando esta sofrer uma operação em um determinado local. Custo este proporcional ao tempo atribuído à operação pela qual a entidade passará naquele local. No presente modelo, foram parametrizados custos aos seguintes locais: (a) Embalagem_3R, com o custo de R\$ 1.086,42 por hora; (b) Fra_I, com o custo de R\$ 577,29 por hora; (c) Fra_II, com o custo de R\$ 482,38 por hora; (d) Anest, com o custo de R\$ 347,54 por hora; e (e) Embalagem_ITA, com o custo de R\$ 258,67 por hora.

Na sequência, foram designados os turnos de trabalho e as datas de calendário para os quais os locais seguirão uma lógica de processamento. O *software* ProModel® permite a edição do calendário para definir os dias em que ocorreram ou ocorrerão às atividades de operação, bem como a parametrização dos tempos de turnos de trabalho. As horas de trabalho são definidas graficamente e eventuais paradas durante o turno também são especificadas. Para a parametrização dos turnos, é necessário que a data e a hora sejam especificadas para o início do período de aquecimento, início do acompanhamento estatístico e término da rodada de simulação.

No ProModel®, a designação do turno é feita por meio da geração de um arquivo externo criado a partir do Editor de Calendário. Este arquivo de calendário é atribuído aos locais de acordo com a sua atribuição. Para o desenvolvimento do modelo em estudo, foram criados quatro arquivos de calendário detalhados no Quadro 6.10.

Quadro 6.10: Designação de turnos no modelo.

Locais	Arquivos de Calendário	Descrição do arquivo	Detalhamento do turno
Embalagem_3R	TURNO_EMBALAGEM_3R.pmc	Figura 6.15. Apresentam, em hachurado, os dias em que não ocorreram atividades operacionais nos locais nos meses de Janeiro a Outubro de 2016 e detalha a jornada de horas dos turnos de trabalho.	Turno de trabalho das 08h00min às 17h00min com intervalo entre as 12h00min e 13h00min
Estq_PA_3R			
Estq_SA_3R			
Embalagem_ITA			
Estq_PA_ITA			
Cliente_07	SABADO_DOMINGO.pmc	Figura 6.16. Apresentam, em hachurado, os dias em que não ocorreu a comercialização das entidades nos meses de Janeiro a Outubro de 2016.	Turno constante (24 horas)
Cliente_12			
Cliente_20			
Cliente_SU			

Quadro 6.10: Designação de turnos no modelo.

Locais	Arquivos de Calendário	Descrição do arquivo	Detalhamento do turno
Fra_I	TURNO_FRAI.pmc	Figura 6.17. Apresentam, em hachurado, os dias em que não foram operacionalizadas as entidades no local Fra_I durante os meses de Janeiro a Outubro de 2016.	Turno de trabalho das 06h00min às 22h00min com intervalos entre as 10h00min e 11h00min e entre às 17h00min e 18h00min
Fra_II	TURNO_FRAII.pmc	Figura 6.18. Apresentam, em hachurado, os dias em que não foram operacionalizadas as entidades no local Fra_II durante os meses de Janeiro a Outubro de 2016.	Turno de trabalho das 06h00min às 22h00min com intervalos entre as 10h00min e 11h00min e entre às 17h00min e 18h00min

Fonte: Elaborado pelo autor.

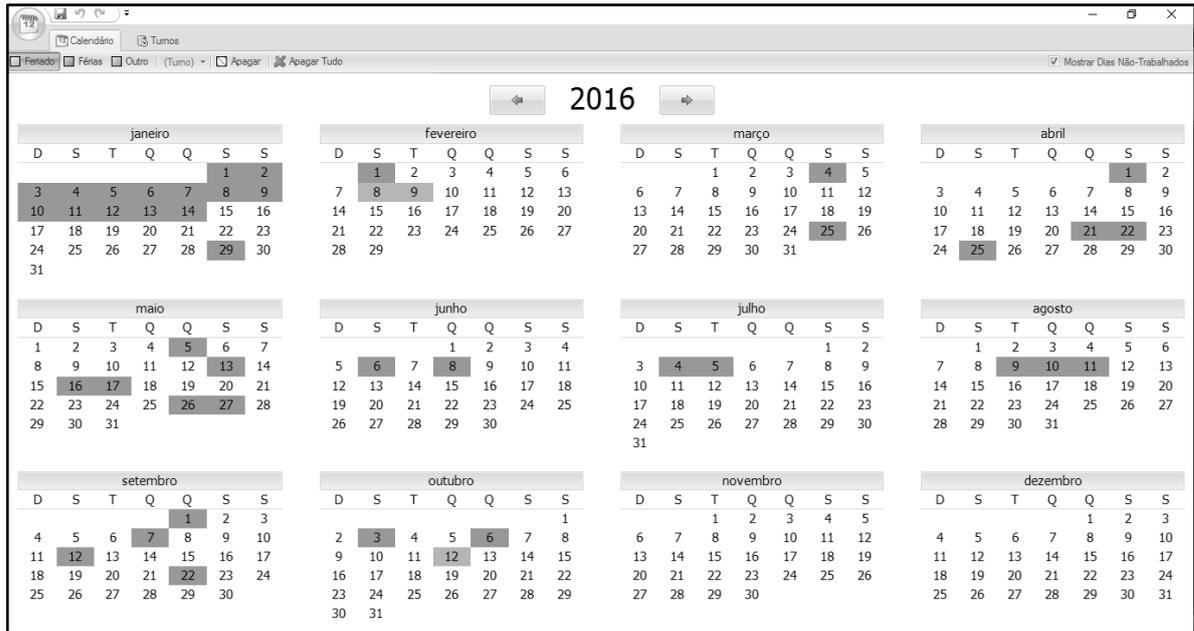


Figura 6.15: Detalhamento de calendário do arquivo TURNO_EMBALAGEM_3R.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

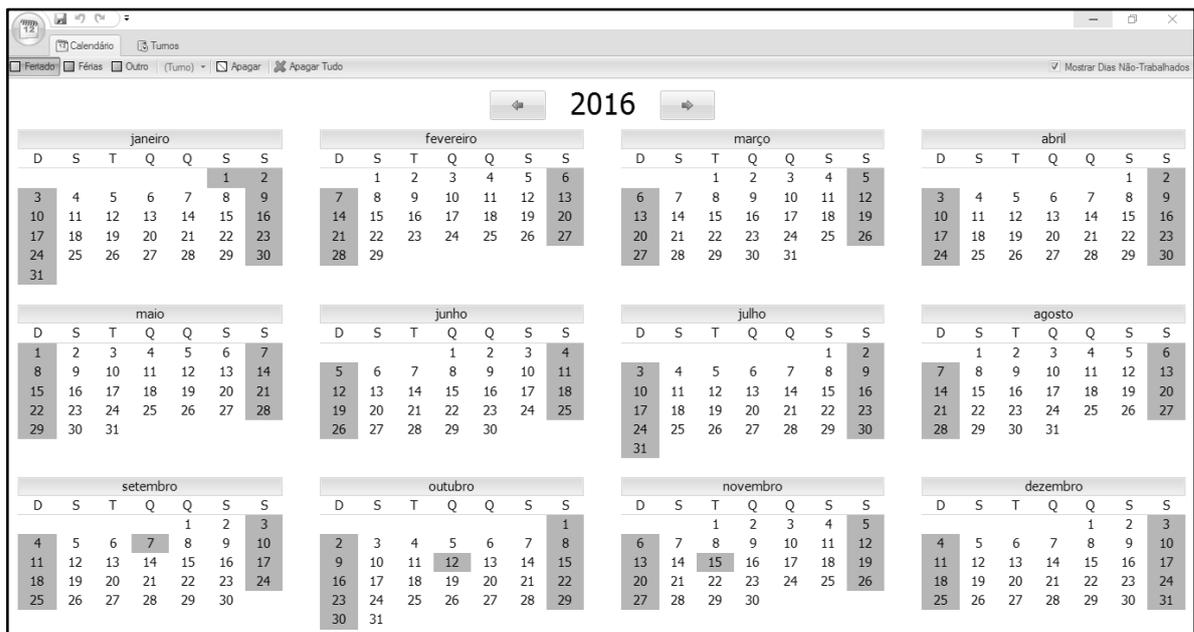


Figura 6.16: Detalhamento de calendário do arquivo SABADO_DOMINGO.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

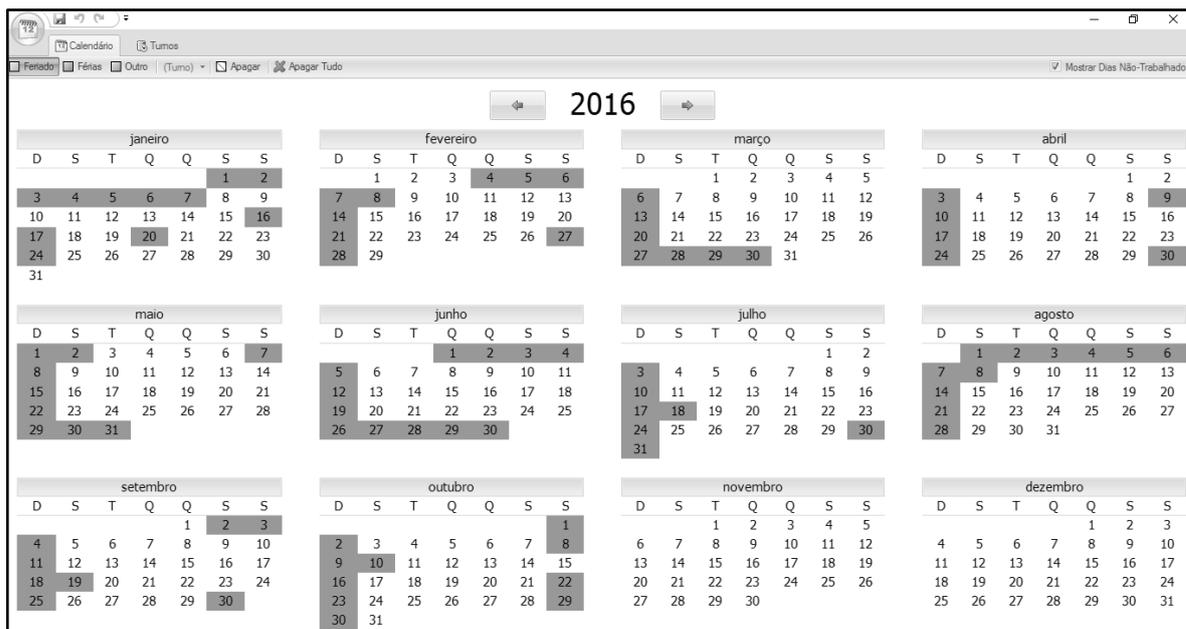


Figura 6.17: Detalhamento de calendário do arquivo TURNO_FRAI.
Fonte: Elaborado pelo autor.

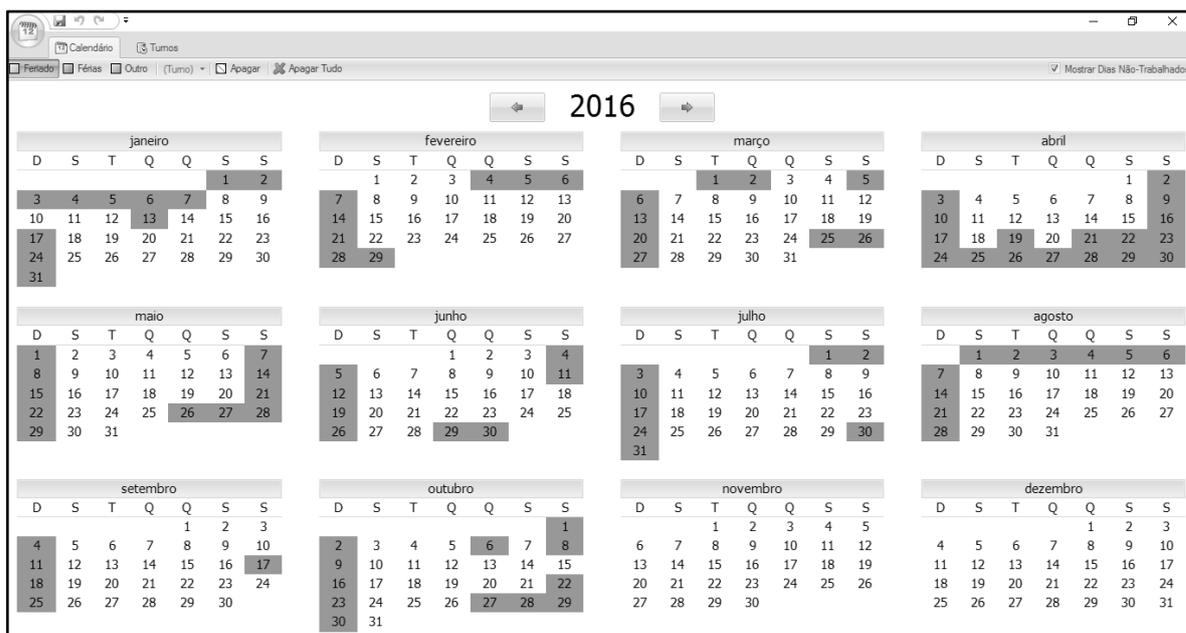


Figura 6.18: Detalhamento de calendário do arquivo TURNO_FRAII.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Etapa final foi realizar a parametrização das lógicas de processamento no modelo. A lógica de processamento define o roteamento de entidades através do sistema e as operações que ocorrem em cada local no sistema. No ProModel®, o processamento é definido para cada tipo de entidade em cada local, onde esta sofre alguma ação ou simplesmente aguarda o acesso a um local subsequente. As regras de roteamento fornecem flexibilidade para modelar todos os tipos de condições de roteamento da entidade durante a lógica de processamento. Uma vez

que as entidades entraram no sistema, conforme definido na Tabela 6.17, o processamento especifica tudo o que acontece com eles até saírem do sistema. Toda a lógica de processamento deste modelo é descrito no APÊNDICE deste trabalho de pesquisa.

6.2.3 Verificação do modelo computacional

Tendo constituído o modelo computacional do sistema, foi necessário realizar a verificação para garantir que o modelo desenvolvido durante a tradução esteja de acordo com os requisitos e especificações de desenvolvimento. A verificação requereu uma grande quantidade de depuração. Obteve-se como aceitável o modelo quando se verificou que a sua estrutura lógica realmente representa o sistema analisado. Esta verificação foi possível por meio da avaliação sistemática de comparação para identificar se o modelo computacional traduz o modelo conceitual.

6.2.4 Validação do modelo computacional

Após a realização da verificação, é efetuada a validação deste modelo. A validação foi realizada para garantir que este realmente reflita os comportamentos das duas configurações do sistema analisado, atendendo a todas as suas premissas. Tal como foi realizado na validação do modelo conceitual, também se utilizou das técnicas de validação de face e de validação de traço para identificar as discrepâncias do modelo frente ao sistema. Todas as discrepâncias foram corrigidas durante a construção do modelo computacional.

6.2.5 Documentação do modelo computacional

Após a validação do modelo computacional, foi extraído do *software* ProModel® a versão do modelo computacional em texto e anexado a este trabalho de pesquisa, estando evidenciado no APÊNDICE. A necessidade de documentar os parâmetros deste modelo se justifica, pois permite a replicação do modelo em outros momentos para outros fins que se façam necessários. É um arcabouço que constitui a estrutura do sistema modelado em uma linguagem adaptada ao *software* de simulação, e que é elaborado como um passo a passo, retratando o roteiro lógico ao qual foi construída a modelagem computacional.

6.3 Fase de análise

Ao término do desenvolvimento do modelo computacional e, posteriormente, tendo sido realizada a verificação, a validação e a documentação do modelo, o próximo passo é a realização da fase de análise dos resultados do experimento de simulação. Contudo, para o cumprimento desta fase é necessária à realização de cinco Etapas, que são: (1) planejamento do experimento/ desenvolvimento do desenho; (2) execução da simulação/ experimento; (3) análise dos resultados/ estatística; (4) documentação e elaboração do relatório do experimento/ conclusões e recomendações; e (5) implementação. Nos próximos parágrafos, é descrita detalhadamente cada uma destas Etapas.

6.3.1 Planejamento do experimento/ Desenvolvimento do desenho

O desenho experimental, na fase de Análise, foi realizado identificando os fatores que possuem o maior efeito acerca das respostas do sistema. Estes fatores foram parametrizados como variáveis de estado na configuração de cenários no *software* ProModel®. Estas variáveis de estado estão representadas como locais, pois o que se pretende avaliar é “qual a configuração do sistema de menor custo”, e as opções são duas configurações em que, o que se altera é, justamente, a existência ou não de alguns locais deste sistema, e que impactam em custos e em benefícios.

Para o desenvolvimento do desenho experimental, foram elaborados dois cenários. O primeiro cenário (a) é a configuração atual do sistema, no qual está previsto a expedição dos produtos fabricados pela indústria por meio da unidade de Três Rios e, portanto, conta com a existência dos seguintes locais: Estoque de semiacabado TR; Embalagem TR; Estoque de produto-acabado TR; e Expedição TR. Já o segundo cenário (b) conta com a extinção da unidade de Três Rios e todo o faturamento ocorrendo pela unidade de Itatiaia. Para isto, os produtos terão que sofrer a operação de embalagem final no local Embalagem IT. A justificativa da construção destes cenários parte dos seguintes pressupostos:

- Cenário (a) – Com a existência da unidade de Três Rios, mesmo com os custos inerentes a existência desta unidade, obtêm-se redução de custo sobre a venda dos produtos, pois a empresa em questão faz uso do benefício fiscal regulamentado pela Lei 6979 de 31 de março de 2015.
- Cenário (b) – Sem a existência da unidade de Três Rios todos os produtos serão faturados pela unidade de Itatiaia. A extinção da unidade de Três Rios traz economias inerentes ao fim dos gastos relativos à sua estrutura. Contudo, a empresa não se beneficia mais do incentivo dado pela Lei 6979 de 31 de março de 2015 e, portanto, terá o aumento dos custos relativo às vendas dos produtos.

Para a execução do experimento de simulação, foram parametrizados no *software* ProModel® os dois cenários propostos. A construção destes cenários foi realizada pela função “Gerenciador de Cenários” do *software* e foi possível por meio da criação dos macros no ProModel®. A parametrização dos cenários é apresentada conforme Figura 6.19.

#	Parâmetros	Baseline	Três Rios	Itatiaia	+
	Simular Cenário?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Última simulação executada				
*	mCap_Estq_SA_3R	1	64	1	
*	mCap_Embalagem_3R	1	1	1	
*	mCap_Estq_PA_3R	1	65	1	
*	mCap_Embalagem_ITA	1	1	1	
*	mCap_Estq_PA_ITA	1	1	240	
*	mChave	1	99	1	

Figura 6.19: Cenários parametrizados para a realização do experimento de simulação.
Fonte: Elaborado pelo autor.

6.3.2 Execução da simulação/ Experimento

Tendo realizado o planejamento do experimento e a parametrização dos cenários no *software* ProModel®, o próximo passo foi executar a simulação. Para isto, foi realizada a parametrização das opções de simulação. Nesta Etapa, foi envolvida a parametrização do período de simulação, no qual foi definido como período de duração: de 01 de Janeiro de 2016 às 08h00min até 31 de Outubro de 2016 às 23h59min. Outro ponto definido foi à precisão do relógio do ambiente de animação da simulação, no qual ficou parametrizada a precisão por minutos. Outro ponto definido foi à quantidade de 20 replicações, para permitir avaliar as possíveis discrepâncias existentes em decorrência dos tempos estocásticos. A visualização dos resultados será por meio do *software* Output Viewer®. Na Figura 6.20, são apresentados os parâmetros definidos para a execução da simulação.

Opções de Simulação

Resultados:

Nome de Execução:

Período da Simulação
 Tempo Semanal Calendário
 Período de Aquecimento
 Início do Aquec.
 Início da Sim.
 Término da Sim.

Precisão do Relógio
 Segundo Hora
 Minuto Dia

Reportando Resultados
 Padrão Batelada Média Periódico
 Tamanho do Intervalo:
 Número de Replicações:

Desabilitar
 Animação Custos
 Exportação de Matriz
 Série de Tempo

No Início
 Pausar Mostrar Anotações
 Rastrear Mostrar Vistas

Geral
 Ajustar para Horário de Verão
 Gerar Script de Animação
 Números Aleatórios Comuns
 Pular paradas de recursos caso fora de turno
 Recompilar Redes

Visualização dos Resultados
 Output Viewer
 Minitab

Figura 6.20: Parametrização das opções de simulação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Finalizado a parametrização das opções de simulação, é possível realizar a execução do experimento de simulação.

6.3.3 Análise dos resultados/ Estatística

Nesta Etapa, é realizada a análise dos dados de saída obtidos por meio do *software Output Viewer*®, consequência da execução do experimento com o *software ProModel*®. A análise está estruturada em se avaliar, primeiro, o desempenho operacional entre os cenários e, por fim, o impacto deste desempenho no resultado financeiro de cada uma das configurações do sistema proposto. O objetivo é demonstrar a configuração do sistema produtivo com menor custo e, portanto, com melhor resultado financeiro.

São avaliados, entre os cenários, os impactos que os elementos locais, recursos e entidades exercem sobre o comportamento dos sistemas e, sobretudo, acerca dos resultados deste sistema, objetivo final deste estudo. Portanto, inicia-se avaliando o elemento local em ambos os cenários. Em seguida, avalia-se o elemento recurso e a influência deste elemento nos cenários propostos e, finalmente, é avaliado o elemento entidade, figurando os produtos

comercializados pela indústria pesquisada, e que é o elemento que absorve os custos do sistema, em ambas as configurações, e que, por meio de sua comercialização, é convertido em receita de vendas. Subtraindo os custos de operação e de vendas (ICMS) dessa receita, obtém-se o Lucro como elemento final e de sustentação da indústria.

Analisando os dados de saída, pode-se observar, conforme apresentado na Figura 6.21, que há alterações substanciais quanto à utilização dos locais inerentes a unidade de Itatiaia, em comparação entre os cenários (a) e (b), no qual a mudança mais significativa diz respeito à utilização dos seguintes locais: Envase de Anestésico e Embalagem IT. No Cenário (b), é observada a utilização do local Envase de Anestésico em 99,9% do período de simulação, enquanto que no Cenário (a) este local é utilizado em apenas 11,1% do período de simulação. No Cenário (b), isto ocorre em decorrência do uso constante do local Embalagem IT, também sendo utilizado com elevada frequência (99,3% do período de simulação).

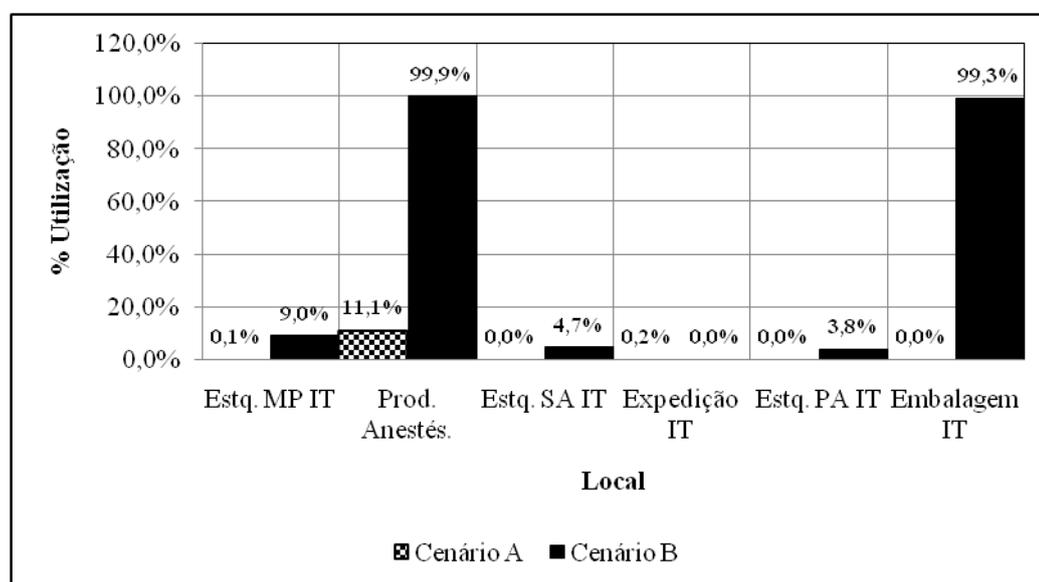


Figura 6.21: Percentual de utilização dos locais durante o experimento de simulação.
Fonte: Elaborado pelo autor.

O uso constante do local Embalagem IT é uma condição exclusiva do Cenário (b), no qual não prevê a existência da unidade fabril de Três Rios. Portanto, todos os materiais na condição de semiacabados passam pelo processo de embalagem final no local Embalagem IT, na unidade de Itatiaia, para então estarem acabados e prontos para a comercialização. Se por um lado, nesta configuração do sistema, elimina-se a existência de uma unidade fabril no sistema produtivo, dando a percepção de que o sistema é mais enxuto, por outro lado, nesta configuração, a unidade de Itatiaia é sobrecarregada.

Observando a Figura 6.22, é possível entender a sobrecarga na unidade de Itatiaia que ocorre quando se analisa o Cenário (b). Quando a configuração do sistema prevê a existência da unidade de Três Rios, situação contemplada no Cenário (a), o local que permanece com um elevado percentual de utilização durante o período de simulação é o local Embalagem TR, na

unidade de Três Rios, estando ocupado em 99,5% deste período. Entretanto um ponto de destaque é que os locais que se conectam aos locais de Embalagem, em ambos os cenários, tanto a jusante quanto a montante, possuem comportamentos significativamente distintos. No Cenário (a), o local Estoque de semiacabados TR e o local Estoque de produto-acabado TR são mais utilizados do que os locais que os substituem no Cenário (b), Estoque de semiacabados IT e Estoque de produtos acabados IT respectivamente.

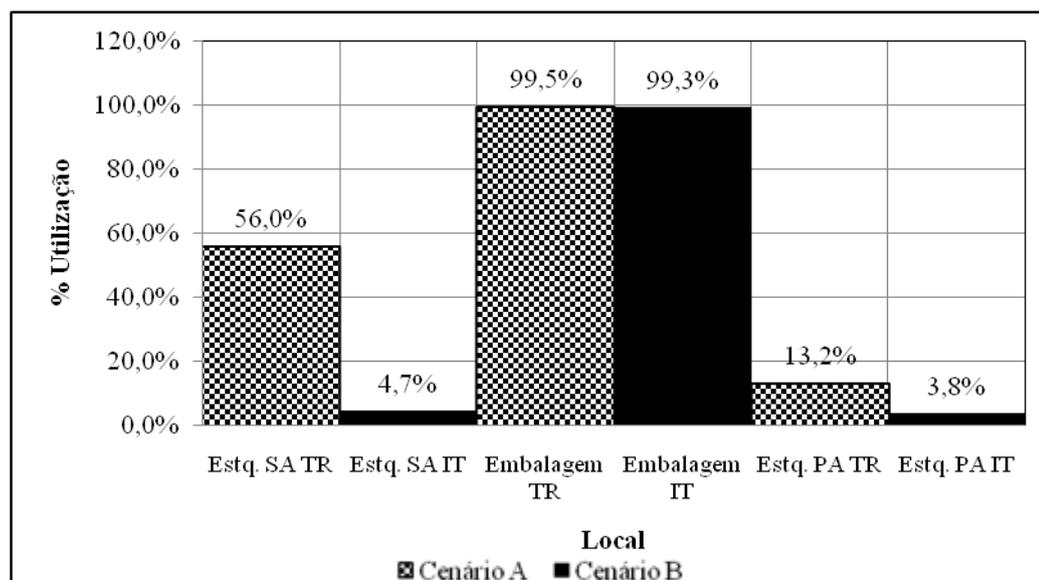


Figura 6.22: Percentual de utilização dos locais das unidades de Três Rios e de Itatiaia.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação à unidade do Rio de Janeiro, não são observadas grandes alterações de comportamento quando se altera a configuração do sistema. Isto pode ser evidenciado na Figura 6.23. Em ambos os cenários, a taxa de utilização é muito similar, o que leva a concluir que, tanto faz o local de embalagem final e expedição serem na unidade de Três Rios ou em Itatiaia, o fluxo de movimentação e de operação nos locais da unidade do Rio de Janeiro não sofrerá alteração.

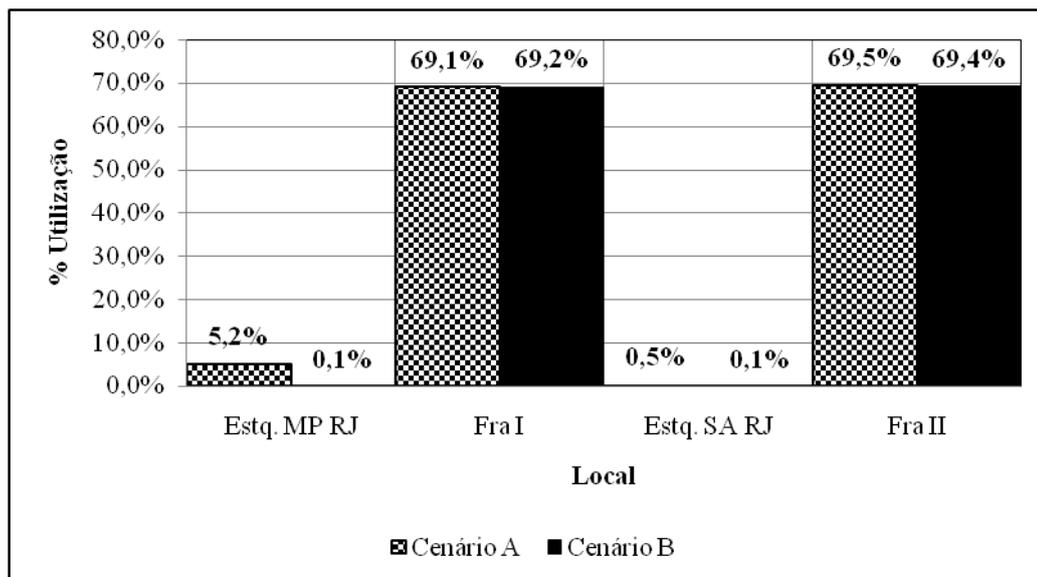


Figura 6.23: Percentual de utilização dos locais da unidade do Rio de Janeiro.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro ponto de destaque que é observado na comparação entre os cenários diz respeito ao volume máximo de lotes de produtos que transitam nos locais. Na Figura 6.24, é apresentada quantidade máxima de lotes de produtos que permaneceram nos locais da unidade de Três Rios. Obviamente no Cenário (b) estes locais não estiveram ocupados, pois neste cenário entende-se que estes locais não existem no sistema. No Cenário (a), o local Estoque de semiacabado TR tem uma ocupação máxima de 54 lotes de produtos, no local Estoque de produto-acabado TR ocorre uma ocupação máxima de 23 lotes de produtos e no local Expedição TR a ocupação máxima é de 11 lotes de produtos.

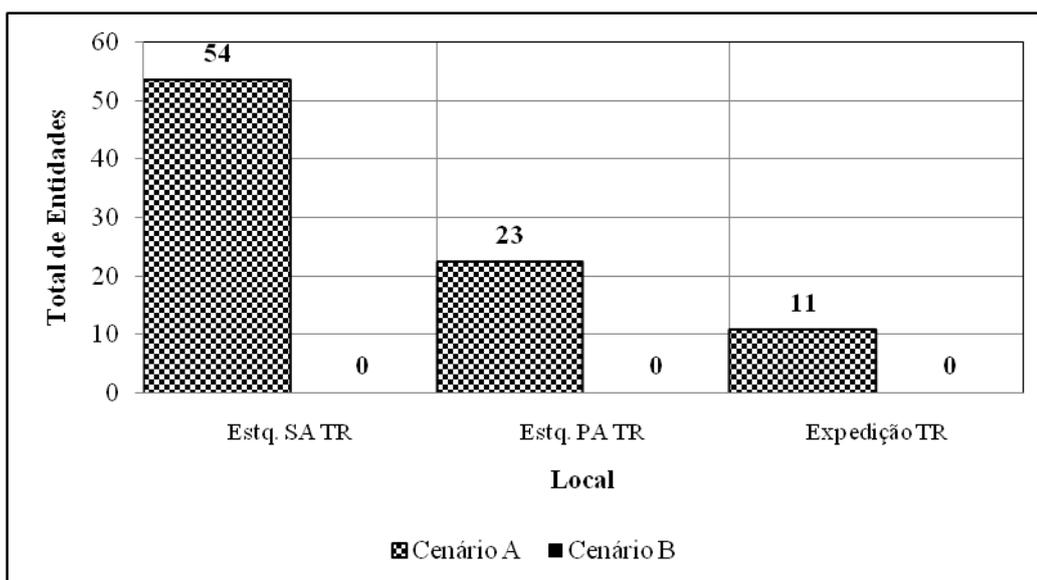


Figura 6.24: Quantidade máxima de lotes de produtos que transitaram nos locais da unidade de Três Rios.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6.25, é possível observar uma taxa de ocupação máxima que reforça os indícios de que a configuração do sistema no Cenário (b) é mais enxuta do que no Cenário (a). Observa-se que no local Estoque de semiacabado IT, na unidade de Itatiaia, realmente a taxa de ocupação máxima é bastante elevada no Cenário (b) em comparação ao Cenário (a). Entretanto, a taxa máxima de ocupação de 26 lotes de produtos no Cenário (b) é significativamente inferior à taxa de ocupação de 54 lotes de produtos no local Estoque de semiacabado TR no Cenário (a), seu substituto. O que leva a conclusão que, na configuração do sistema contemplado no Cenário (b), é necessário menor infraestrutura de armazenagem, pois a taxa de ocupação máxima de lotes de produtos nesta configuração é menor.

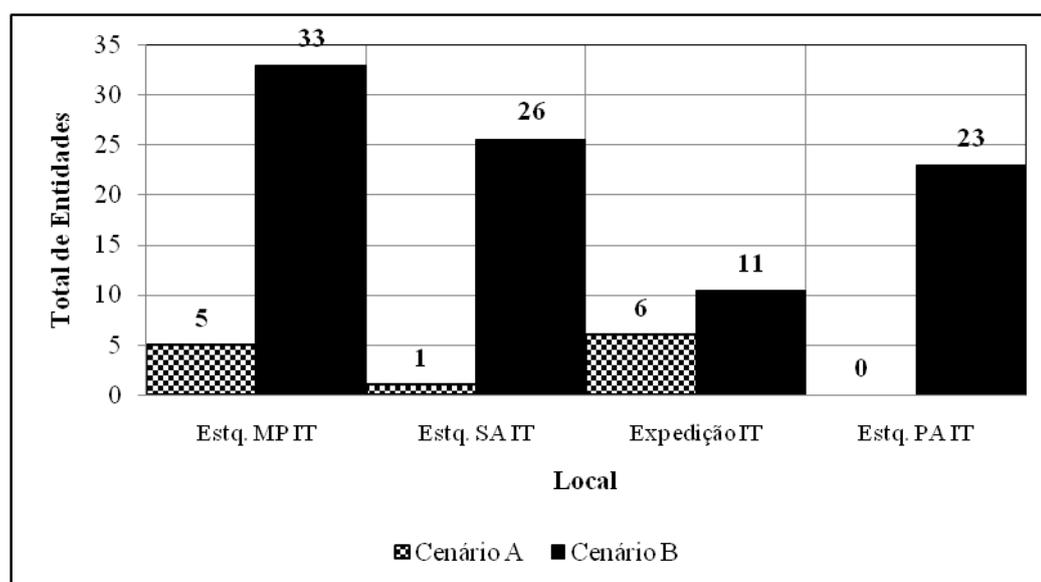


Figura 6.25: Quantidade máxima de lotes de produtos que transitaram nos locais da unidade de Itatiaia.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra evidência quanto à maior eficiência do Cenário (b), em comparação ao Cenário (a), diz respeito à quantidade de lotes de produtos que permaneceram no sistema ao fim do período de simulação. Na Figura 6.26, observa-se que no Cenário (b) ocorreu de permanecer 22 lotes de produtos no sistema, enquanto que no Cenário (a) permaneceram 25 lotes de produtos. Estes lotes de produtos que permaneceram no sistema, ao fim do período de simulação, caracterizam saldo em estoques no dia 31 de outubro de 2016. Pôde-se observar que tais lotes de produtos permaneceram estocados tanto em locais definidos como armazém quanto em locais de execução de atividade de manufatura.

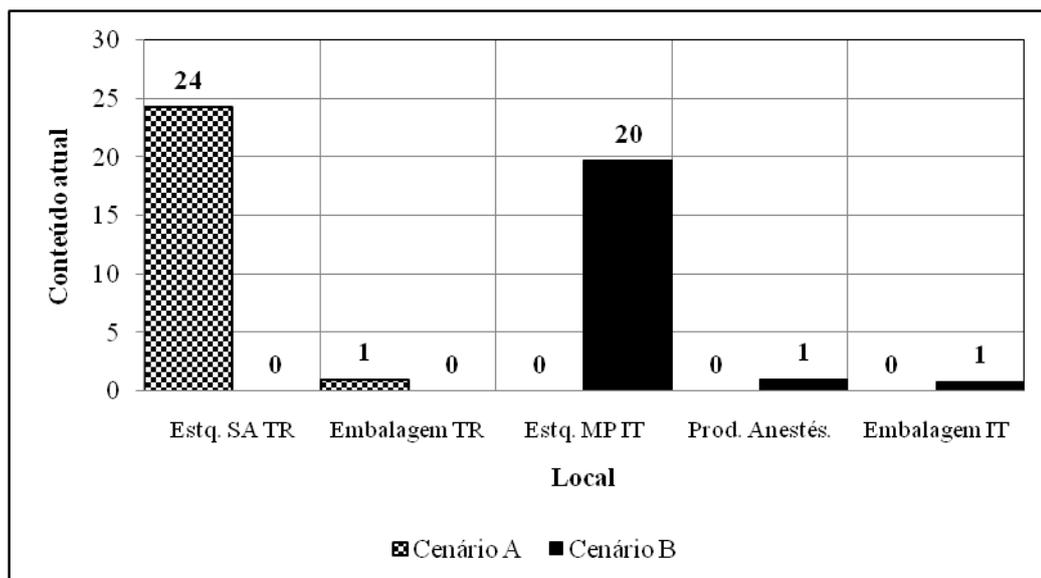


Figura 6.26: Saldo em estoques no dia 31 de outubro de 2016 por cenário.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6.27, é apresentado o custo de operação dos locais durante o período de simulação. Estes custos foram adicionados ao custo das entidades que foram processadas nestes locais. A variação significativa do custo de operação, entre os cenários, observado no local Envase de Anestésico é pelo fato de que, no Cenário (b), 20 lotes de produtos permaneceram estocados no local Estoque de matéria-prima IT e, como não foram processados no local Envase de Anestésico, não absorveu o custo relativo à operação neste local.

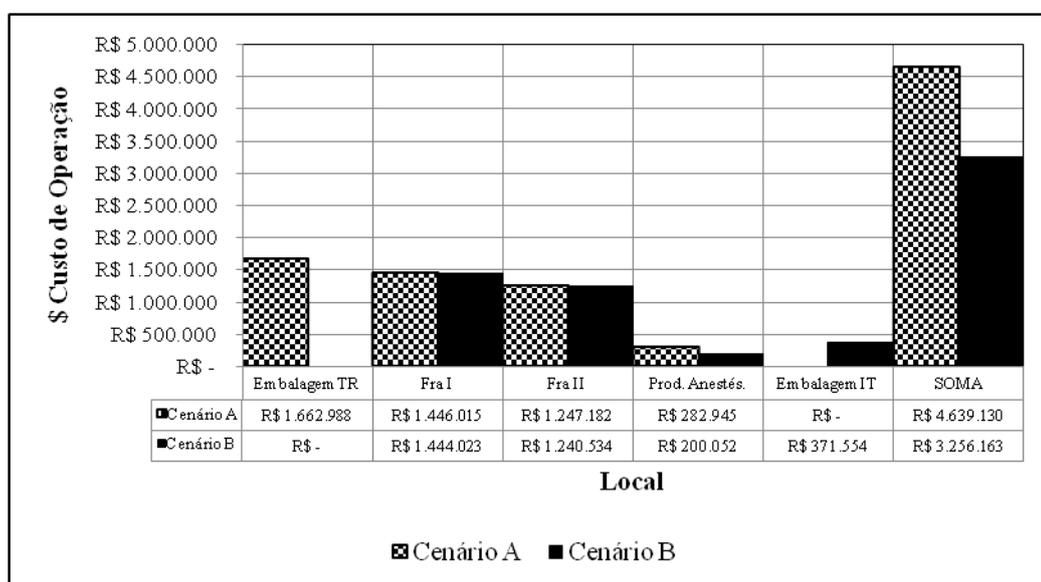


Figura 6.27: Custo de operação dos locais durante o período de simulação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Entretanto, o grande destaque está entre os custos observados no local Embalagem TR e no local Embalagem IT. Estes locais se substituem entre os cenários. O que se pôde observar é que, no Cenário (a), em que os lotes de produtos são processados no local Embalagem TR, o

custo deste local é de aproximadamente 4,5 vezes o custo do local Embalagem IT (R\$ 1.662.988 contra R\$ 371.554). A evidência observada é que, com o Cenário (a), os custos operacionais totais dos locais são R\$ 4.639.130, e, portanto, superior em R\$ 1.382.967 em comparação aos custos totais obtido com o Cenário (b) (R\$ 3.256.163).

Além do elemento local, outro fator que influencia no desempenho de custos é o uso dos recursos disponíveis para a realização das transferências dos lotes de produtos entre os locais de operação. No sistema estudado, são utilizados os recursos caminhão. São dois caminhões disponíveis para a transferência dos lotes de produtos entre as unidades fabris. Na Figura 6.28, o que se observa é que, no Cenário (a), em que há a existência de três unidades fabris operacionalizando, os caminhões são utilizados 258 vezes contra 190 vezes em que foram utilizados no Cenário (b), no qual o sistema contempla apenas duas unidades fabris.

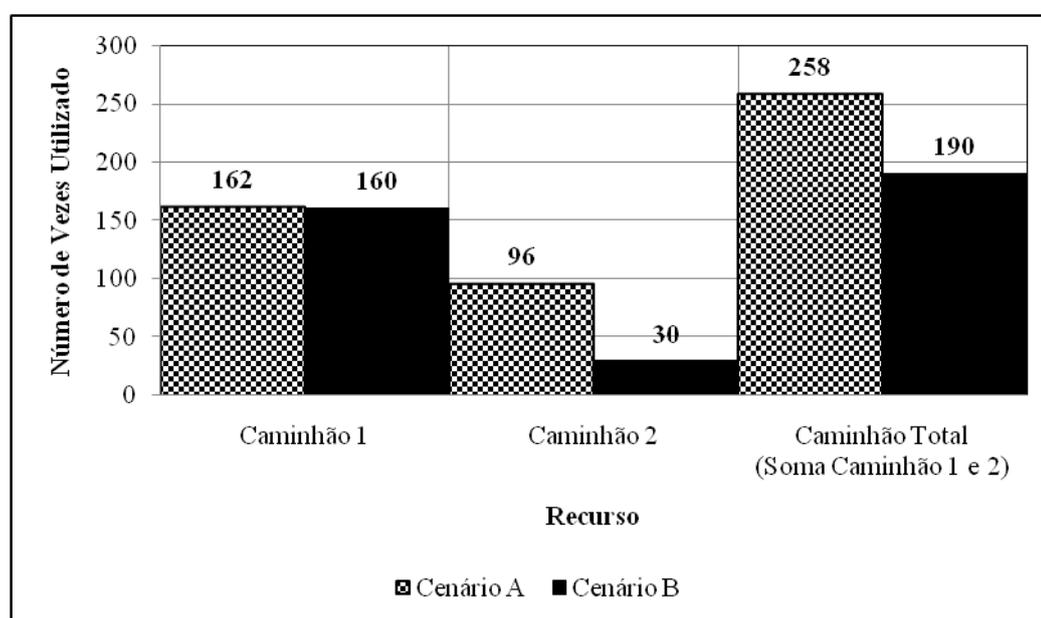


Figura 6.28: Quantidade de utilização do recurso Caminhão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra característica que salienta o desempenho quanto ao uso dos caminhões diz respeito ao perfil de uso entre os cenários. Na Figura 6.29, é apresentado o estado dos recursos caminhão no Cenário (a) durante o período de simulação. Neste cenário, os recursos caminhão estiveram em uso durante 5,2% do período de simulação, estiveram em movimentação para uso também em 5,2% deste mesmo período e se movimentaram para parada em 4,6% do período de simulação. Os restantes 85% do tempo de simulação os recursos permaneceram parados e, portanto, ociosos.

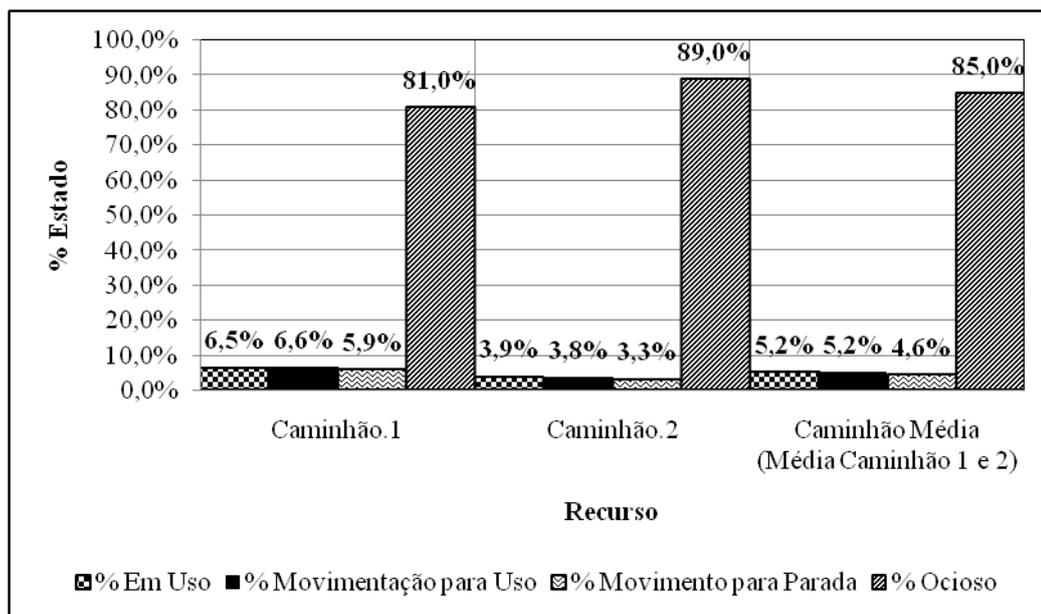


Figura 6.29: Estado dos Recursos durante o período de simulação no Cenário (a).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6.30, é demonstrado o estado dos recursos no Cenário (b) durante o exercício de simulação. Pode-se observar que, neste cenário, os recursos caminhão são menos utilizados e, portanto, ficam mais ociosos. Outro ponto de destaque é que, neste cenário, não há movimento para parada, pois os recursos transitam apenas da unidade de Itatiaia indo coletar os lotes de produtos na unidade do Rio de Janeiro. Já no Cenário (a), além da movimentação que ocorre de transferência dos lotes de produtos entre os locais Itatiaia e Três Rios, o que não ocorre no Cenário (b), há também o fato de que, quando os lotes de produtos saem da unidade do Rio de Janeiro com destino a unidade de Três Rios os recursos realizam esta movimentação e depois retornam para a unidade de Itatiaia, onde é a base quando estão ociosos. Este movimento do Cenário (a) não existe no sistema contemplado no Cenário (b) e, neste sentido, o Cenário (b) torna-se mais econômico.

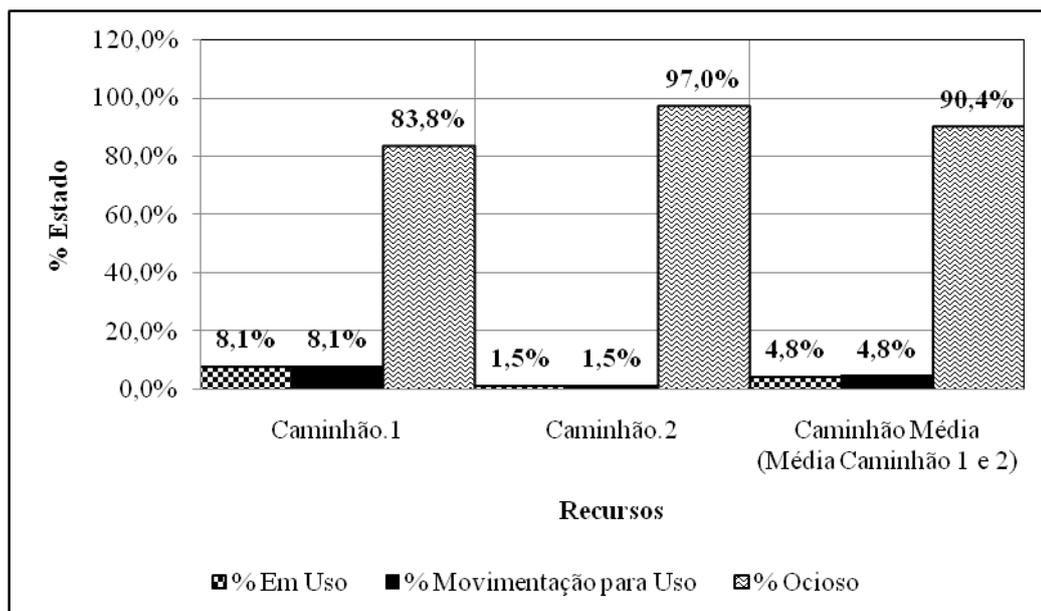


Figura 6.30: Estado dos Recursos durante o período de simulação no Cenário (b).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6.31, é demonstrado o estado dos lotes de produtos no Cenário (a) durante o período de simulação. Neste cenário, observa-se que há similaridade no percentual de operacionalidade dos lotes de produtos. Contudo, o destaque está quanto ao percentual de estado bloqueado aos quais os lotes de produtos permanecem durante o período de simulação. Uma entidade é bloqueada quando teve seu processamento encerrado no local atual, mas não pode ser roteada para o próximo local em decorrência do fato deste não possuir capacidade para o recebimento da entidade naquele específico momento. Portanto, até que o próximo local da lógica de movimento fique disponível, a entidade fica bloqueada, impedida de ser processada. Também é observado similaridade quanto ao percentual do estado em lógica de movimento entre os lotes de produtos.

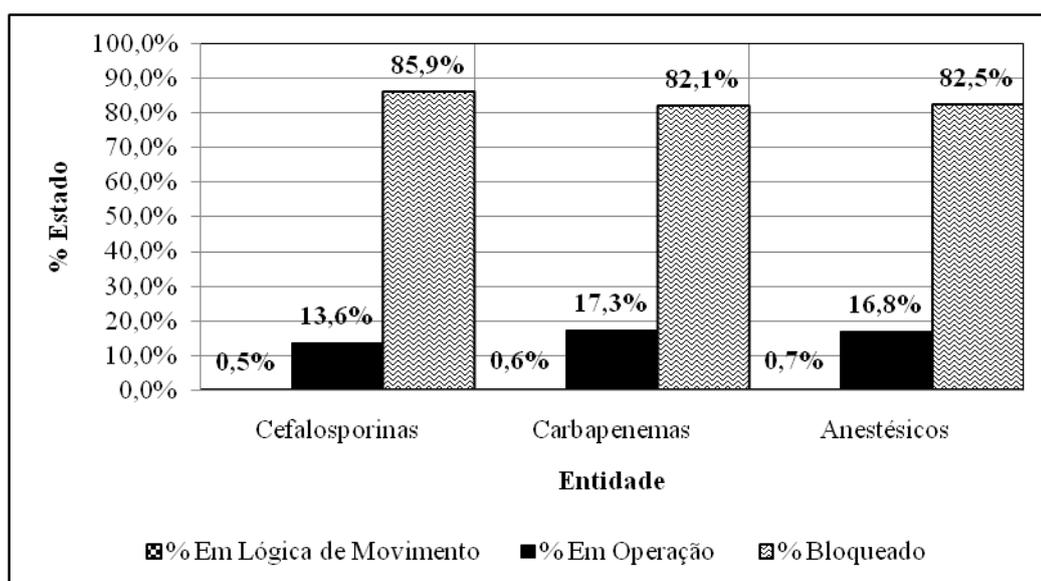


Figura 6.31: Estado os lotes de produtos durante o período de simulação no Cenário (a).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6.32, é apresentado o estado dos lotes de produtos no Cenário (b) durante o período de simulação. Pode-se observar que o perfil deste sistema, quanto ao estado dos lotes de produtos, é diferente do observado no Cenário (a), e corrobora com os indícios de que, no Cenário (b), há maior economicidade operacional em decorrência do fato deste sistema ser mais eficiente. A evidência está no fato de que, no Cenário (b), os lotes de produtos Cefalosporinas e Carbapenemas estão em operação durante um maior período do tempo simulado do que no Cenário (a) e, portanto, menos bloqueados para operação.

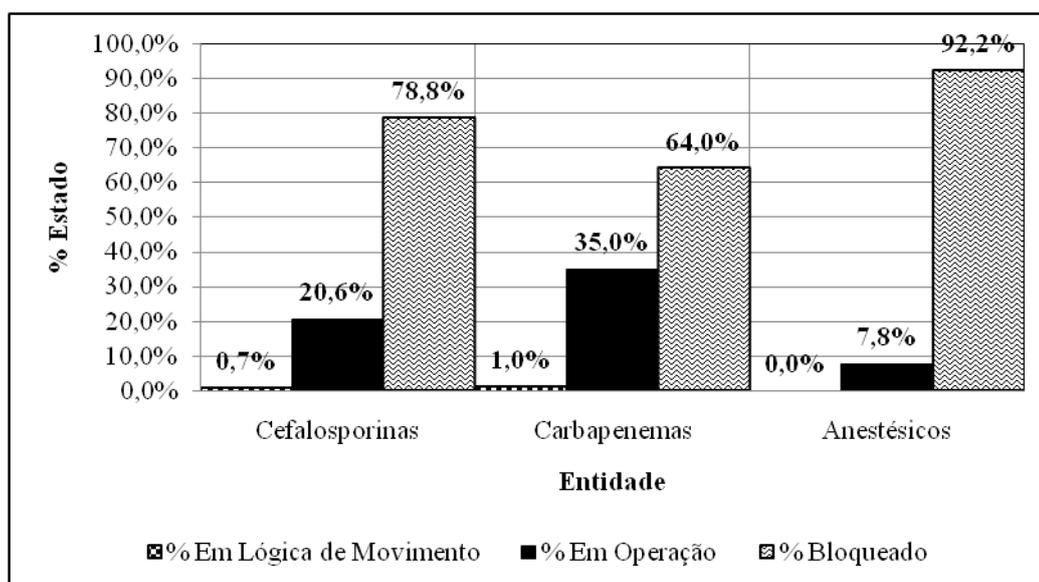


Figura 6.32: Estado dos lotes de produtos durante o período de simulação no Cenário (b).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Entretanto, no Cenário (b), os lotes de produtos Anestésicos são menos operacionalizados e, portanto, mais bloqueados durante o período de simulação. Isto ocorre pelo fato de que, neste cenário, os lotes de produtos Anestésicos, durante a sua produção no local Envase de Anestésico, permanecem bloqueados até que o local Embalagem IT fique livre. Como no Cenário (b) todos os lotes de produtos são enviados para Itatiaia para serem embalados e disponibilizados para comercialização e expedição, a partir deste local, há uma sobrecarga que faz com que os lotes de produtos Anestésico se acumulem entre os locais Estoque de matéria-prima IT e Envase de Anestésico.

Para a indústria pesquisada, quando há a conversão da configuração do sistema produtivo que compõe o Cenário (a) para o Cenário (b), os lotes de produtos Anestésicos deixam de ter duas fases de fabricação e passam a ter apenas uma fase, dividida em duas etapas. Isto significa que este lote de produto não passa mais pela fase de semiacabado para depois se tornar um produto-acabado, mas sim duas operações integradas que compõe o envase no local Envase de Anestésico e, na sequência, a embalagem no local Embalagem IT sofrendo apenas um

único processo de transformação. Contudo, nesta configuração, a fabricação dos lotes de produto Anestésico passa a concorrer com a embalagem final dos lotes de produtos Cefalosporinas e Carbapenemas, fazendo com que haja um bloqueio maior dos lotes de produtos Anestésicos nesta configuração do sistema.

Na Figura 6.33, é apresentada a comparação entre os cenários (a) e (b) quanto ao percentual de operação dos lotes de produtos durante a realização do experimento de simulação. Desta forma, é possível observar o quanto é melhorado o desempenho de operação dos lotes de produtos Cefalosporinas e Carbapenemas no Cenário (b). Entretanto, também é possível perceber o quanto o desempenho operacional dos lotes de produto Anestésico no Cenário (b) é prejudicado com a migração das atividades de embalagem final para a unidade de Itatiaia.

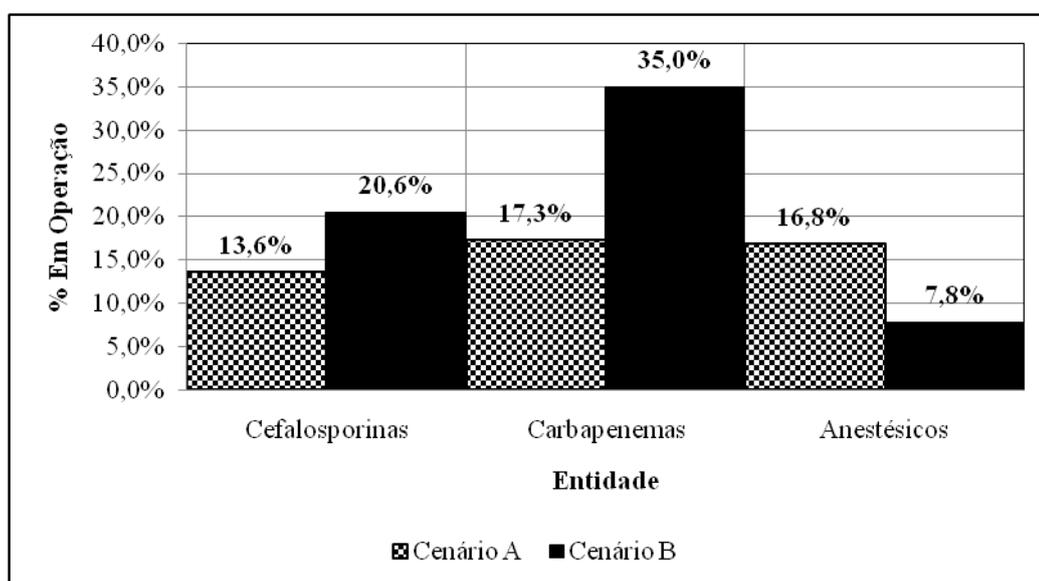


Figura 6.33: Percentual em operação dos lotes de produtos durante o período de simulação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando a Figura 6.34, é possível entender o maior desempenho operacional obtido no Cenário (b). Neste cenário, obtêm-se maior volume de saída dos lotes de produtos do sistema do que no Cenário (a). Entretanto, esta maximização ocorre apenas com os lotes de produtos Cefalosporinas e Carbapenas, nos quais, no Cenário (b), todos os volumes que entraram no sistema foram expedidos ao fim da simulação. Já os lotes de produto Anestésico, no Cenário (b), obtiveram um desempenho de expedição inferior ao Cenário (a), corroborando com a evidência exposta na Figura 6.26, no qual demonstra menor desempenho operacional com os lotes de produtos no Cenário (b).

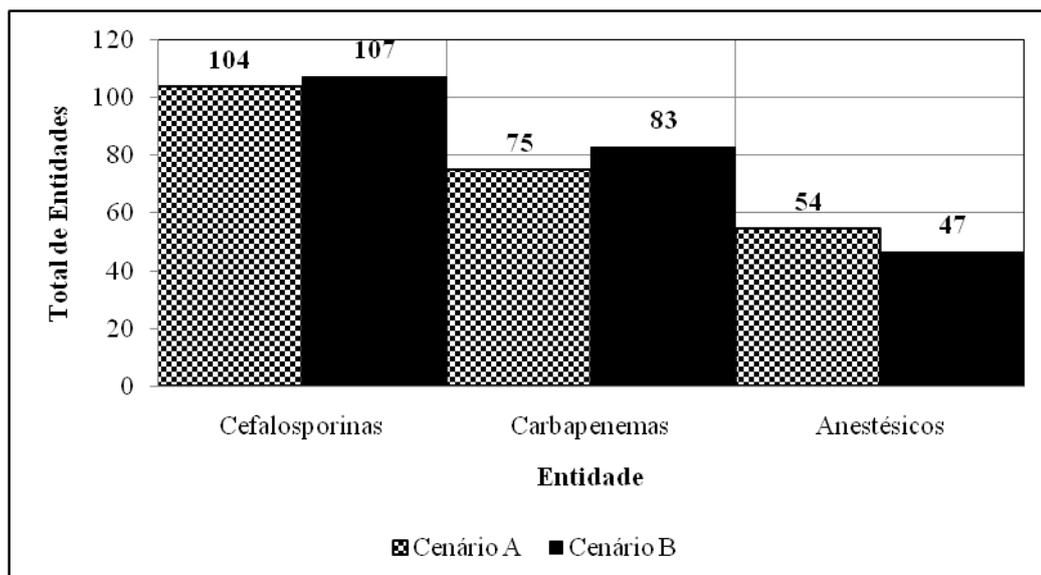


Figura 6.34: Total dos lotes de produtos saídos do sistema durante o período de simulação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No sistema estudado, ocorreram de entrar 69 lotes de produtos Anestésicos no sistema e, como exposto na Figura 6.34, no Cenário (b) ocorre de sair apenas 47, nos quais, conforme evidenciado na Figura 6.26, 22 lotes de produtos permaneceram no sistema, sendo que: 20 lotes de produtos permaneceram no local Estoque de Matéria-Prima IT ao fim da simulação; e 2 lotes de produtos permaneceram nos locais de execução de operação, especificamente no local Envase de Anestésico e no local Embalagem IT, com 1 lote de produto em cada local e, portanto, contemplando estoques em processo.

Na Figura 6.35, é representada a participação do volume de vendas por alíquota de ICMS. A diversidade de alíquotas de ICMS no Brasil é ilustrada na Figura 6.1 no qual cada Estado brasileiro pratica uma alíquota específica com o objetivo de equilibrar a sua arrecadação de impostos, mas, contudo, também manter a sua competitividade em atrair empresas e fomentar o desenvolvimento econômico do seu Estado. A alíquota de ICMS de 0% exposta na Figura 6.1 diz respeito às vendas que são realizadas para os clientes estabelecidos na Zona Franca de Manaus, e que abrange os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Rondônia e Roraima, no qual, por meio de um incentivo concedido pelo Governo Federal, há a desoneração completa do ICMS na compra de produtos nacionais por clientes destes Estados.

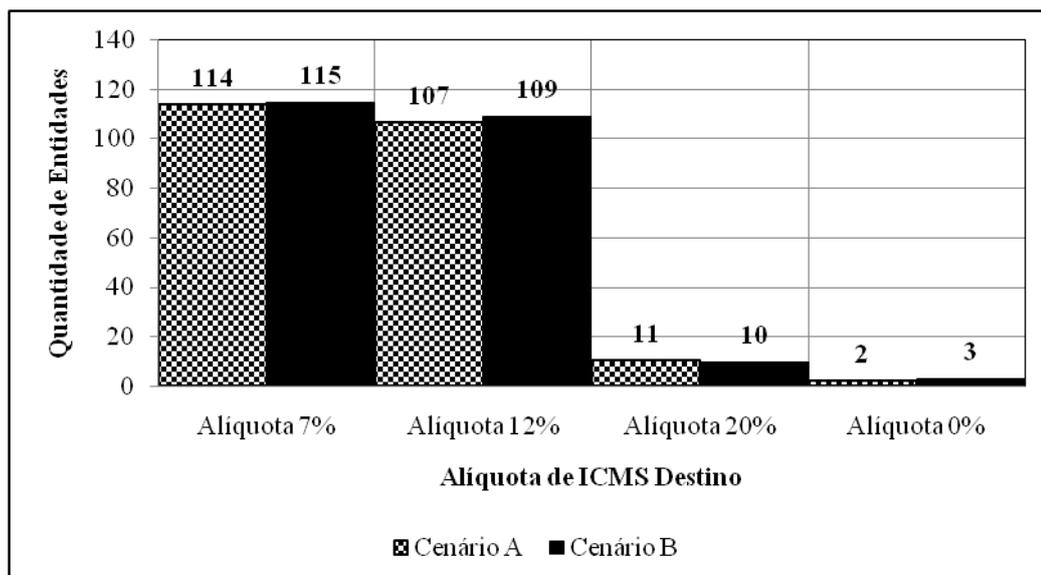


Figura 6.35: Quantidade de lotes de produtos vendidos por alíquota de ICMS.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando a Figura 6.35, dois pontos são necessários para se destacar, que são: (i) entre os cenários não há grande variação entre os volumes vendidos por alíquotas, no qual a pequena diferença diz respeito ao desempenho operacional, em comparação aos cenários, quanto ao volume de saída, exposto na Figura 6.34; e (ii) observa-se que os maiores volumes de saída são para os Estados brasileiros em que as alíquotas de ICMS são de 7% e 12%. Com esta diversidade de alíquotas de ICMS, praticadas na venda dos produtos, é apresentada, na Tabela 6.19, uma alíquota de ICMS baseada em uma média ponderada de todas as alíquotas, para cada cenário.

Tabela 6.19: Média ponderada das alíquotas de ICMS praticadas nos cenários (a) e (b).

Cenário (a)				Cenário (b)			
Alíq. ICMS	Volume de saída	% Volume de saída	Ponderação da alíq. ICMS	Alíq. ICMS	Volume de saída	% Volume de saída	Ponderação da alíq. ICMS
7%	114	48,9%	3,4%	7%	115	48,5%	3,4%
12%	107	45,8%	5,5%	12%	109	46,0%	5,5%
20%	11	4,5%	0,9%	20%	10	4,1%	0,8%
0%	2	0,8%	0,0%	0%	3	1,4%	0,0%
Total:	233	100,0%	9,8%	Total:	237	100,0%	9,7%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Entretanto, é importante destacar que, apesar de haver vendas de produtos para os diversos Estados brasileiros, cabendo uma diversidade de alíquotas de ICMS sobre as vendas, no Cenário (a), a condição de tributação do ICMS na venda produtos é de 3% para todo o país, excluindo apenas os Estados beneficiados por estar na Zona Franca de Manaus, no qual há a desoneração completa do ICMS para estes clientes. Portanto, exclusivamente no Cenário (a), as alíquotas de ICMS de 7%, 12% e 20% sobre as vendas são substituídas por 3%. Este benefício é regulamentado pela Lei nº 6979 de 31 de março de 2015 e impacta em substancial redução dos custos de ICMS sobre as vendas, beneficiando o Cenário (a) e, portanto, exigindo

que, nesta configuração do sistema, exista a unidade de Três Rios para que a indústria em questão usufrua do benefício fiscal.

Na Figura 6.36, é representado o resultado financeiro das operações da indústria nos dois cenários. Os quatro elementos que compõem a estratificação deste resultado são: Faturamento; Custo; ICMS; e Lucro. Pode-se observar que há uma diferença substancial quanto ao elemento Faturamento entre os dois cenários. No Cenário (b), o montante obtido de faturamento foi de R\$ 67.423.239. Valor maior do que os R\$ 65.522.478 obtidos no Cenário (a), gerando uma diferença de R\$ 1.900.761 (2,90%). Esta diferença é justamente em decorrência do melhor desempenho operacional obtido no Cenário (b), no qual ocorreu de sair maior quantidade de entidades do sistema e, portanto, elevando o faturamento da indústria.

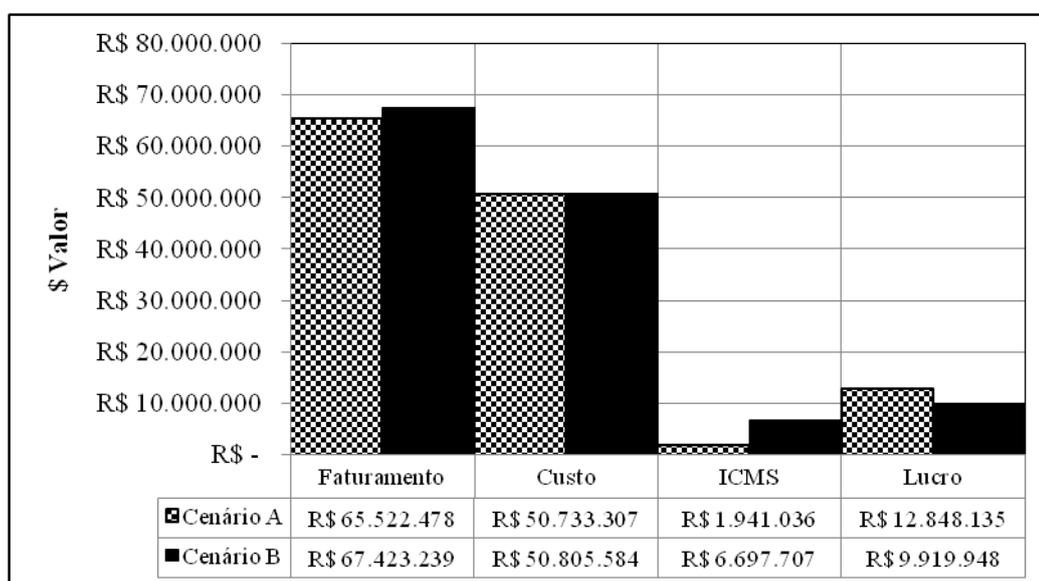


Figura 6.36: Resultado de venda por cenário.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No que diz respeito ao elemento Custo, apesar do valor nominal no Cenário (a) ser menor do que no Cenário (b), isto ocorre pelo fato de que no Cenário (a) a quantidade de entidades saídas do sistema, ou seja, vendidas, são menores do que no Cenário (b) e, como o elemento Custo representa o custo dos produtos vendidos, não é demonstrado o custo dos lotes de produtos que permaneceram estocados no sistema ao fim do período de simulação. Portanto, ponderando o elemento Custo em proporção ao Faturamento, observa-se que o Cenário (b) obtém melhor resultado.

O menor Custo obtido no Cenário (b) ocorre principalmente por conta do que é observado na Figura 6.27 em que o local Embalagem IT possui um custo de operação menor do que o local Embalagem TR. Outro fator que influencia no desempenho do elemento Custo é o uso dos recursos Caminhão. Pode-se observar, conforme evidenciado na Figura 6.28, que no Cenário (a), este recurso é mais utilizado do que no Cenário (b), contribuindo para que os custos no Cenário (a) sejam maiores do que no Cenário (b).

Entretanto, quando se observa o elemento ICMS, verifica-se o real impacto que o benefício fiscal, proporcionado pela Lei nº 6979 de 31 de março de 2015, causa sobre o resultado da indústria pesquisada. Com este elemento fica claro que, mesmo no Cenário (b) com maior eficiência operacional e menor custo de produção, o impacto da ausência deste benefício estaria prejudicando significativamente o resultado financeiro da indústria. Pode-se observar que o custo do ICMS sobre as vendas no Cenário (a), em decorrência da sua configuração do sistema produtivo, ao valor de R\$ 1.941.036, é menor do que o custo do ICMS sobre as vendas obtidas no Cenário (b) (R\$ 6.697.707) em R\$ 4.756.671 (245,06%).

Por consequência da composição de todos estes elementos, é possível identificar que a configuração do sistema produtivo representado no Cenário (a) possui maior Lucro do que a configuração do sistema produtivo representado no Cenário (b), sendo R\$ 12.848.135 contra R\$ 9.919.948 respectivamente, uma diferença de R\$ 2.928.187 (29,52%), beneficiando o Cenário (a) na comparação. Portanto, conclui-se que a configuração do sistema produtivo representado pelo Cenário (a) é a configuração de menor custo total e que, por consequência, é a configuração de maior desempenho econômico.

6.3.4 Documentação do relatório do experimento/Conclusões

Para o cumprimento desta etapa, é disponibilizada toda a Seção 6.3 e suas subseções, compondo a documentação do experimento e a conclusão analítica deste. Adota-se esta Seção deste trabalho de pesquisa, pois se entende que a construção desta seção compõe todos os elementos para servir de instrumento aos usuários na revisão da formulação final e na comparação dos resultados do sistema, servindo de guia de referência para todos os futuros problemas de natureza semelhante.

6.3.5 Implementação

Neste trabalho de pesquisa, não será evidenciada a implementação de forma “tangível”, mas sim o “produto intangível”, que é a informação ou o conhecimento sobre o sistema produtivo analisado. Este “produto intangível” esta na forma de resposta ao problema deste trabalho de pesquisa no qual, a partir das análises dos dados de saída, conclui-se como sendo o Cenário (a) a configuração do sistema de menor custo, proporcionando melhor resultado financeiro a indústria objeto desta pesquisa. Cabe destacar que este cenário reflete a atual configuração do sistema produtivo praticado por esta empresa.

6.4 Considerações Finais

Neste Capítulo, foi apresentada a aplicação do estudo de pesquisa objeto deste trabalho. Para a realização deste estudo, foi necessário estratificar a execução em três fases, que foram: Concepção; Desenvolvimento; e Análise. Estas fases foram estruturadas em Etapas com entendimento conceitual descrito no Capítulo 5, permitindo ao pesquisador desenvolver o trabalho com o rigor científico, necessário para se alcançar a relevância acadêmica e

empresarial, ao qual se insere o contexto de tal pesquisa e, sobretudo, atingir os objetivos propostos.

Por fim, a partir da análise dos resultados de saída deste estudo, permitiu-se alcançar o objetivo de forma conclusiva, obtendo-se como produto final do experimento a configuração do sistema produtivo de menor custo entre dois cenários propostos. Portanto, com a análise dos resultados do presente Capítulo, é possível estruturar o Capítulo seguinte que é composto pelos comentários gerais acerca do alcance, não apenas do objetivo geral deste estudo, mas também de todos os objetivos secundários. Na sequência, são esboçadas as sugestões para trabalhos futuros, propondo a realização de outros estudos que compõem o contexto da indústria pesquisada.

7. CONCLUSÃO

No Capítulo anterior, foi apresentada a aplicação do experimento envolvendo a técnica de SED para o alcance do objetivo principal desta pesquisa, que foi identificar a configuração do sistema produtivo com menor custo em uma indústria do segmento químico farmacêutico. Entretanto, para que esse objetivo fosse alcançado foi necessário estruturar e alcançar outros objetivos específicos, considerados secundários. A estruturação destes objetivos foi orientada para o alcance do objetivo principal desta pesquisa e, portanto, cada objetivo secundário alcançado permitia-se chegar mais próximo da solução do problema desta pesquisa.

Neste sentido, iniciou-se o estudo com o desenvolvimento do modelo representativo do sistema. Entretanto, para que se construísse um modelo que realmente representasse o sistema de forma satisfatória, fez-se necessário alcançar o pleno entendimento acerca do funcionamento do sistema estudado, o que foi evidenciado na Seção 6.1.3. O entendimento acerca do funcionamento do sistema somente foi possível por meio de constante visita e observação do comportamento real do sistema, e registro deste comportamento durante as observações. Os dados capturados nas observações foram confrontados com a documentação coletada, permitindo-se, então, o desenvolvimento do modelo representativo do sistema.

O desenvolvimento do modelo representativo do sistema ocorreu em duas fases. A primeira fase, denominada Concepção, envolveu a construção de um modelo conceitual baseado na técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM utilizando o *software* DIA®, conforme exposto na Seção 6.1.4. À medida que este modelo conceitual era desenvolvido, em segundo plano, era realizada a sua validação, demonstrada na Seção 6.1.5, sempre buscando alcançar a adequada representatividade do sistema. Contudo, como o objetivo principal do estudo é a comparação de dois cenários representando configurações do sistema produtivo, foi-se necessário construir o modelo que representasse o Cenário (b) e, portanto, a configuração do sistema produtivo alternativo em que não é contemplada a existência da unidade fabril de Três Rios.

A segunda fase da construção do modelo representativo do sistema foi denominada Desenvolvimento e envolveu a programação do modelo em ferramenta de simulação. Para que esta fase fosse realizada, foi necessário cumprir algumas etapas, das quais a primeira etapa foi selecionar o *software* de SED disponível mais adequado ao desenvolvimento do modelo, tal como evidenciado na Seção 6.2.1. Para o exercício de seleção do *software*, foi utilizada a técnica AHP de múltiplos critérios, realizando uma avaliação com os *softwares* disponíveis, que foram: Arena®; @Risk®; e ProModel®.

A conclusão do estudo de seleção do *software* aplicando-se a técnica AHP foi que o *software* mais adequado para a construção do modelo computacional foi o ProModel®, pois este atende de forma mais satisfatória as necessidades da pesquisa, definidas com base nos critérios estabelecidos por meio de uma pesquisa bibliográfica e por meio da ponderação destes critérios com base no levantamento da opinião de 14 especialistas.

Em sequência, foi realizado o desenvolvimento do modelo computacional com o *software* ProModel®, envolvendo a programação do modelo em uma lógica em computador, espelhando o modelo conceitual elaborado na fase de Concepção. Esta Etapa está descrita na Seção 6.2.2. O modelo computacional também é uma representação de um sistema, real ou proposto e, portanto, conforme exposto nas Seções 6.2.3 e 6.2.4, se fez necessário realizar a verificação e a validação do modelo para que este representasse adequadamente as configurações do sistema produtivo avaliado.

Com a ferramenta de simulação ProModel®, foram parametrizados dois cenários do sistema produtivo da indústria estudada, conforme demonstrado na Seção 6.3.1. O Cenário (a) que contempla a situação atual representa o sistema produtivo da indústria no qual prevê a existência de três unidades fabris nos municípios do Rio de Janeiro, Itatiaia e Três Rios, todos no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Neste cenário, a empresa usufrui de um benefício fiscal, concedido pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro, às empresas que possuem unidades fabris em alguns municípios do Estado abrangidos pelo benefício, no qual se inclui o município de Três Rios e se exclui os municípios do Rio de Janeiro e de Itatiaia.

No Cenário (b), a configuração do sistema produtivo é diferente do previsto no Cenário (a). Neste cenário, não há a existência da unidade fabril de Três Rios, existindo apenas as unidades fabris do Rio de Janeiro e de Itatiaia e, portanto, neste cenário, a empresa em questão não usufrui do benefício fiscal. A justificativa para a avaliação comparativa entre os dois cenários é baseada em um estudo de compensação de custos, no qual se busca compreender qual configuração do sistema produtivo possui menor custo total.

Ao término da programação do modelo em ferramenta de simulação, foi possível realizar o experimento de simulação, evidenciado na Seção 6.3.2. O experimento de simulação envolveu a execução de dez replicações automáticas de cada um dos cenários avaliados para se obter maior precisão do comportamento do sistema. O produto do experimento foram informações geradas pelo *software* ProModel®, para cada cenário, e que permitiram a análise de sensibilidade por meio do *software* Output Viewer®. Conforme apresentado na Seção 6.3.3, a análise de sensibilidade, quanto à configuração do sistema, foi feita com base nas alterações dos seguintes elementos: local; recurso; e entidade. Elementos estes que foram alterados entre os cenários avaliados.

Com base na análise dos dados de saída, pode-se concluir, ao analisar apenas as operações logísticas e produtivas, que o Cenário (b) tem a sua estrutura mais enxuta. Essa estrutura produtiva possui menor custo operacional e há menos necessidade de movimentação dos produtos entre as unidades. Ao incluir na análise o custo com o imposto ICMS, foi possível concluir ainda que a configuração do sistema produtivo de menor custo total é a representada pelo Cenário (a) ou cenário atual, obtendo um lucro ao final da análise de R\$ 12.848.135. No Cenário (b), mesmo com maior eficiência operacional e, portanto, menor custo de fabricação, além do maior desempenho com relação à quantidade de saída de entidades do sistema, a maior carga tributária na venda dos produtos, em decorrência da ausência do benefício fiscal,

faz com que o lucro ao final do período de simulação seja R\$ 9.919.948, menor do que o obtido no Cenário (a) em 29,52%.

Portanto, por meio deste estudo, é respondida a pergunta introduzida como problema desta pesquisa, que fora: “As questões tributárias de uma região podem reduzir o custo total para a empresa mesmo aumentando os custos operacionais?”. Sim. As questões tributárias, específicas de uma região, realmente podem reduzir os custos totais de uma empresa, mesmo aumentando os custos operacionais.

Assim sendo, conforme evidenciado na Figura 6.36, ao considerar o custo total nos dois cenários, o resultado seria o seguinte: no Cenário (a) o custo total, envolvendo o Custo do produto vendido e o ICMS sobre as vendas, seria de R\$ 52.674.343; No Cenário (b), o custo total seria de R\$ 57.503.291, isto é, 9,17% maior do que os custos obtidos no Cenário (a).

Contudo, cabe ressaltar uma importante limitação do presente estudo, acerca do fato de que o modelo é uma representação de um sistema produtivo real, mas não é efetivamente o sistema real. No qual, mesmo tendo sido validado durante a fase de desenvolvimento, não representa cem por cento de verossimilhança do mundo real. Isso decorre da impossibilidade, e até mesmo da inviabilidade, de se capturar todos os dados de todas as variáveis, endógenas e exógenas, que permeiam o ambiente em estudo.

Entretanto, mesmo com as limitações observadas, ressalta-se este estudo como sendo relevante, pois apresenta uma característica diversas vezes observada em alguns países em desenvolvimento, que é a questão tributária. Isso decorre do fato de que, em muitos países em desenvolvimento, o sistema tributário é complexo, e, portanto, acaba influenciando a tomada de decisão durante o planejamento de uma rede logística.

Como sugestão para trabalhos futuros cabe ressaltar importantes estudos que podem ser avaliados utilizando-se a técnica de SED ou outras técnicas complementares. Entre estes estudos, pode-se destacar a necessidade em se analisar as limitações quanto à capacidade operacional das unidades fabris desta indústria e os impactos que estas limitações podem acarretar ao sistema no caso do aumento da demanda de fabricação dos produtos.

8. REFERÊNCIAS

- ABDI, Mohammad Reza; LABIB, Ashraf W. A design strategy for reconfigurable manufacturing systems (RMSs) using analytical hierarchical process (AHP): a case study. **International Journal of production research**, v. 41, n. 10, p. 2273-2299, 2003. doi: 10.1080/0020754031000077266
- ABOUELJINANE, Lina; SAHIN, Evren; JEMAI, Zied; MARTY, Jean. A simulation study to improve the performance of an emergency medical service: Application to the French Val-de-Marne department. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 47, p. 46-59, Set. 2014.
- AFAZOV, Shukri M. Modelling and simulation of manufacturing process chains. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 70-77, 2013. doi: 10.1016/j.cirpj.2012.10.005
- AGRAWAL, Gaurav K.; HERAGU, Sunderesh S. A survey of automated material handling systems in 300-mm SemiconductorFabs. **IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing**, v. 19, n. 1, p. 112-120, fev. 2006.
- AKHAVIAN, Reza; BEHZADAN, Amir H. Evaluation of queuing systems for knowledge-based simulation of construction processes. **Automation in Construction**, v. 47, p. 37-49, nov. 2014.
- ALFONSO, Edgar; XIE, Xiaolan; AUGUSTO, Vincent; GARRAUD, Oliver. Modeling and simulation of blood collection systems. **Health Care Management Science**, v. 15, n. 1, p. 63-78, Mar. 2012.
- ALLAHVERDI, Ali; NG, C.T.; CHENG, T.C.E.; KOVALYOV, Mikhail Y. A survey of scheduling problems with setup times or costs. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 3, p. 985-1032, Jun. 2008.
- ALLAOUI, Hamid; ARTIBA, Abdelhakim. Integrating simulation and optimization to schedule a hybrid flow shop with maintenance constraints. **Computers & Industrial Engineering**, v. 47, n. 4, p. 431-450, 2004.
- ARASHPOUR, Mohammadreza; ARASHPOUR, Mehrdad. Analysis of Workflow Variability and Its Impacts on Productivity and Performance in Construction of Multistory Buildings. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 6, Nov. 2015. doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000363
- ARNAS, Per O.; HOLMSTRÖN, Jan; KALANTARI, Joakim. In-transit services and hybrid shipment control: The use of smart goods in transportation networks. **Transportation Research Part c-Emerging Technologies**, v. 36, p. 231-244, Nov. 2013.

BADRI, Masood A.; DAVIS, Donald; DAVIS, Donna. A comprehensive 0–1 goal programming model for project selection. **International Journal of Project Management**, v. 19, n. 4, p. 243-252, Mai, 2001.

BAINES, Tim; MASON, Stephen; SIEBERS, Peer-Olaf; LADBROOK, John. Humans: the missing link in manufacturing simulation?. **Simulation modelling practice and theory**, v. 12, n. 7, p. 515-526, Nov. 2004.

BAIRD, Scott P.; LEAVY, Jeffrey J. Simulation modeling using ProModel for windows. In: **Simulation Conference Proceedings**, 1994. Winter. IEEE, 1994. p. 527-532.

BALCI, Osman; BERTELROD, Anders I.; ESTERBROOK, Chuck M.; NANCE, Richard E. Visual simulation environment. In: **Proceedings of the 30th conference on Winter simulation**. IEEE Computer Society Press, 1998. p. 279-288.

BANKS, Jerry. **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice**. John Wiley & Sons, 1998.

BANKS, Jerry. Selecting simulation software. In: **Proceedings of the 23rd conference on Winter simulation**. IEEE Computer Society, 1991. p. 15-20.

BANKS, Jerry; CARSON, John S.; NELSON, Barry L.; NICOL, David M. **Discrete-Event System Simulation**. 3ªed. Prentice hall, New Jersey, 2001.

BARIL, Chantal; GASCON, Viviane; CARTIER, Stéphanie. Design and analysis of an outpatient orthopaedic clinic performance with discrete event simulation and design of experiments. **Computers & Industrial Engineering**, v. 78, p. 285-298, Dez. 2014.

BARNES, Ralph Mosser. Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho. Editora Blucher Ltda, 1986.

BATEMAN, Robert E.; BOWDEN, Royce O.; GOGG, Thomas J.; HARRELL, Charles R.; MOTT, Jack R.; MONTEVECHI, José Arnaldo B. **Simulação de sistemas: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elseviers, 2013.

BAUMOL, William J.; VINOD, Hrishikesh D. An inventory theoretic model of freight transport demand. **Management science**, v. 16, n. 7, p. 413-421, Mar. 1970.

BENNETT, Brian S. **Simulation fundamentals**. Midsomer Norton, U. K.: Prentice Hall International Ltd., 1995.

BENSON, Deborah. Simulation modeling and optimization using ProModel. In: **Proceedings of the 29th conference on Winter simulation**. IEEE Computer Society, 1997. p. 587-593.

BERTOLINI, Massimo.; BRAGLIA, Marcello; CARMIGNANI, Gionata. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. *International Journal of Project Management*, v. 24, n. 5, p. 422-430, Jul. 2006.

BETTERTON, Carl E.; SILVER, S J. Detecting bottlenecks in serial production lines - a focus on interdeparture time variance. *International Journal of Production Research*, v. 50, n. 15, p. 4158-4174, Ago. 2012.

BIGGS, Joseph R.; THIES, Emil A.; SISAK, James. R. The Cost of ordering. *Journal of Purchasing and Materials Management*, v. 26, n. 3, p. 30-36, Jun. 1990. doi: 10.1111/j.1745-493X.1990.tb00510.x

BLEIBLER, Florian; RAPP, Kilian; JAENSCH, Andrea; BECKER, Clemens; KÖNIG, Hans-Helmut. Expected lifetime numbers and costs of fractures in postmenopausal women with and without osteoporosis in Germany: a discrete event simulation model. *BMC Health Services Research*, v. 14, Jun. 2014. doi: 10.1186/1472-6963-14-284

BRENNAN, Robert W. Toward real-time distributed intelligent control: A survey of research themes and applications. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C Applications and Reviews*, v. 37, n. 5, p. 744, Set. 2007.

BRESSAN, Graça. **Modelagem e simulação de sistemas computacionais**. Capítulo sobre Redes de Petri, LARC-PCS/EPUSP, 2002.

BRUNS JR, William J.; MCKINNON, Sharon M. Information and managers: a field study. *Journal of management accounting research*, v. 5, p. 84, 1993. Disponível em: <<http://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=3637>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

BUSATO, Patrizia. A simulation model for a rice-harvesting chain. *Biosystems Engineering*, v. 129, p. 149-159, Jan. 2015.

CARSON, John I. I.; BANKS, Jerry; NELSON, Barry; NICOL, David M. **Discrete-event system simulation**. 4.ed. Nova Jersey: Prentice-Hall, 2005.

CARTENI, Armando; DE LUCA, Stefano. Tactical and strategic planning for a container terminal: Modelling issues within a discrete event simulation approach. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 21, n. 1, p. 123-145, fev. 2012.

CASH, Charles R.; WILHELM, Wilbert E. A simulation model for use in designing robotic assembly cells. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 7, n. 4, p. 279-291, 1988. doi: 10.1016/0278-6125(88)90039-8

CASTILLO, Ignacio; SMITH, Jeffrey S. Formal modeling methodologies for control of manufacturing cells: Survey and comparison. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 21, n. 1, p. 40-57, 2002. doi: 10.1016/S0278-6125(02)90011-7

CAVINATO, Joseph L. A total cost/value model for supply chain competitiveness. **Journal of Business Logistics**, v. 13, n. 2, p. 285, 1992.

CHACKELSON, Claudia; ERRASTI, Ander; CIPRÉS, David; LAHOZ, Fernando. Evaluating order picking performance trade-offs by configuring main operating strategies in a retail distributor: A Design of Experiments approach. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 20, p. 6097-6109, Jun. 2013.

CHAN, Felix T. S.; CHAN, Hing K.; LAU, Henry C. W. The state of the art in simulation study on FMS scheduling: a comprehensive survey. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 19, n. 11, p. 830-849, Jun. 2002. doi: 10.1007/s001700200095

CHAN, Felix T. S.; CHAN, Hing K. A comprehensive survey and future trend of simulation study on FMS scheduling. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 15, n. 1, p. 87-102, fev. 2004.

CHAN, Felix T. S.; CHAN, Hing K. Design of a PCB plant with expert system and simulation approach. **Expert Systems with Applications**, v. 28, n. 3, p. 409-423, Abr. 2005.

CHANG, Qing; NI, Jun; BANDYOPADHYAY, Pulak; BILLER, Stephan; XIAO, Guoxian. Supervisory factory control based on real-time production feedback. **Journal of manufacturing science and engineering**, v. 129, n. 3, p. 653-660, Out. 2006. doi: 10.1115/1.2673666

CHEMWENO, Peter; THIJS, Vincent; PINTELON, Liliane; HORENBEEK, Adriaan V. Discrete event simulation case study: Diagnostic path for stroke patients in a stroke unit. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 48, p. 45-57, Nov. 2014.

CHEN, Hung-Ming; HUANG, Pu-Hao. 3D AR-based modeling for discrete-event simulation of transport operations in construction. **Automation in Construction**, v. 33, p. 123-136, Ago. 2013.

CHEN, Ye; MOCKUS, Linas; ORCUN, Seza; REKLAITIS, Gintaras V. Simulation-optimization approach to clinical trial supply chain management with demand scenario forecast. **Computers & Chemical Engineering**, v. 40, p. 82-96, Mai. 2012.

CHOW, Garland; HEAVER, Trevor D.; HENRIKSSON, Lennart E. Logistics performance: definition and measurement. **International journal of physical distribution & logistics management**, v. 24, n. 1, p. 17-28, 1994. doi: 10.1108/09600039410055981

CHTOUROU, Hédi; JERBI, Abdessalem; MAALEJ, Aref Y. The cellular manufacturing paradox: a critical review of simulation studies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 19, n. 5, p. 591-606, 2008. doi: 10.1108/17410380810877276

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e Simulação de eventos discretos: Teoria e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Ed. do autor, 2010.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e simulação de eventos discretos**, 4.ed.: Teoria e aplicações. Elsevier Brasil, 2015.

CIGOLINI, Roberto; PERO, Margherita; ROSSI, Tommaso; SIANESI, Andrea. Linking supply chain configuration to supply chain performance: A discrete event simulation model. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 40, p. 1-11, Jan. 2014.

COLLINS, S. J.; ROBINSON, A. L.; HOLLAND, H. F. A comparison between total intravenous anaesthesia using a propofol/alfentanil mixture and an inhalational technique for laparoscopic gynaecologicalsterilization. **European Journal of Anaesthesiology (EJA)**, v. 13, n. 1, p. 33-37, Jan. 1996.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de Produção e de Operações**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2013.

COSTA, Rafael Florêncio da Silva. Abordagem sistemática para avaliação econômica de cenários para modelos de simulação discreta em manufatura. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, MG, 2010.

CRANE, Glenis J.; KYMES, Steven M.; HILLER, Janet E.; CASSON, Robert; MARTIN, Adam; KAMON, Jonathan D. Accounting for Costs, QALYs, and Capacity Constraints: Using Discrete-Event Simulation to Evaluate Alternative Service Delivery and Organizational Scenarios for Hospital-Based Glaucoma Services. **Medical Decision Making**, v. 33, n. 8, p. 986-997, Mar. 2013.

DATTA, Partha P.; Roy, Rajkumar. Incentive issues in performance-based outsourcing contracts in the UK defence industry: a simulation study. **Production Planning & Control**, v. 24, n. 42859, p. 359-374, 2013. doi: 10.1080/09537287.2011.648488

DAVIS, Lesley; WILLIAMS, Glyn. Evaluating and selecting simulation software using the analytic hierarchy process. **Integrated manufacturing systems**, v. 5, n. 1, p. 23-32, 1994. doi: 10.1108/09576069410050314

DAY, Lukejohn W.; BELSON, David; DESSOUKY, Maged; HAWKINS, Caitilin; HOGAN, Michael. Optimizing efficiency and operations at a California safety-net endoscopy center: a modeling and simulation approach. **Gastrointestinal Endoscopy**, v. 80, n. 5, p. 762-773, Nov. 2014.

DAY, Theodore E.; SARAWGI, Sandeep; PERRI, Alexis; NICOLSON, Susan C. Reducing Postponements of Elective Pediatric Cardiac Procedures: Analysis and Implementation of a

Discrete Event Simulation Model. **Annals of Thoracic Surgery**, v. 99, n. 4, p. 1386-1391, Abr. 2015.

MORAES, Rinaldo Ribeiro; CASTRO, Isaneide Ribeiro. O ICMS E A GUERRA FISCAL ENTRE ESTADOS: uma análise a respeito desse tributo. **Revista de Administração e Contabilidade - RAC**, [S.l.], v. 2, n. 3, jun. 2015. ISSN 2358-1948. Disponível em: <<http://www.revistasfap.com/ojs3/index.php/rac/article/view/101>>. Acesso em: 13 out. 2016.

DE FARIA, Ana Cristina; DA COSTA, Maria de Fatima Gameiro. **Gestão de custos logísticos: custeio baseado em atividades (ABC), balanced scorecard (BSC), valor econômico agregado (EVA)**. São Paulo: Atlas, 2007.

DE QUEIROZ, José A.; MIRANDA, Rafael C.; TORRES, Alexandre F.; PINHO, Alexandre F. Proposta de uma metodologia para utilização da simulação no planejamento e implantação dos sistemas de produção enxuta. **Simpósio brasileiro de pesquisa operacional**, v. 44, Set. 2012.

DEBACKER, Michel; UTTERBEECK, Filip V.; ULLRICH, Christophe; DHONDT, Erwin; HUBLOUE, Ives. SIMEDIS: a Discrete-Event Simulation Model for Testing Responses to Mass Casualty Incidents. **Journal of Medical Systems**, v. 40, n. 12, Dez. 2016.

DEWILDE, Thijs; SELS, Peter; CATTRYSSE, Dirk; VANSTEENWEGEN, Pieter. Improving the robustness in railway station areas. **European Journal of Operational Research**, v. 235, n. 1, p. 276-286, Mai. 2014.

DOPFER, Kurt; FOSTER, John; POTTS, Jason. Micro-meso-macro. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 14, n. 3, p. 263-279, 2004. doi: 10.1007/s00191-004-0193-0

DRURY, Colin. **Costing: an introduction**. 3.ed. Hong Kong: Springer, 2013

DUNNA, Eduardo García; REYES, Heriberto García; BARRÓN, Leopoldo Eduardo Cárdenas. **Simulación y análisis de sistemas con ProModel**. México: Pearson Educación, 2006.

DURIEUX, Severine; PIERREVAL, Henri. Regression metamodeling for the design of automated manufacturing system composed of parallel machines sharing a material handling resource. **International Journal of Production Economics**, v. 89, n. 1, p. 21-30, Mai. 2004.

ELLRAM, Lisa M.; SIFERD, Sue Perrott. Purchasing: The cornerstone of the total cost of ownership concept. **Journal of Business Logistics**, v. 14, n. 1, p. 163, 1993.

ELLRAM, Lisa. Total cost of ownership: elements and implementation. **International Journal of Purchasing and Materials Management**, v. 29, n. 3, p. 2-11, 1993.

ERNST, Andreas T.; JIANG, H; KRISHNAMOORTHY, Mohan; SIER, D. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. **European journal of operational research**, v. 153, n. 1, p. 3-27, fev. 2004. doi: 10.1016/S0377-2217(03)00095-X

FERNIE, John; FREATHY, Paul; TAN, Ee-Leng. Logistics costing techniques and their application to a Singaporean wholesaler. **International Journal of Logistics**, v. 4, n. 1, p. 117-131, 2001.

FISCHBEIN, Seth A.; YELLIG, Edward. Why Is It So Hard to Build and Validate Discrete Event Simulation Models of Manufacturing Facilities?. In: **Planning production and inventories in the extended enterprise**. Springer New York, p. 271-288, 2011.

FISHWICK, Paul A. **Simulation model design and execution: building digital worlds**. Prentice Hall PTR, 1995.

GAGLIARDI, Jean-Philippe; RENAUD, Jacques; RUIZ, Angel. A simulation modeling framework for multiple-aisle automated storage and retrieval systems. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 25, n. 1, p. 193-207, fev. 2014. doi: 10.1007/s10845-012-0686-x

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Thonsom Learning, 2006.

GORDON, Valery; PROTH, Jean-Marie; CHU, Chengbin. A survey of the state-of-the-art of common due date assignment and scheduling research. **European Journal of Operational Research**, v. 139, n. 1, p. 1-25, 2002.

GREASLEY, Andrew. **Simulation modelling for business**. 2003.

GREASLEY, Andrew. Using simulation for facility design: A case study. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 16, n. 6, p. 670-677, 2008.

GREASLEY, Andrew. Using system dynamics in a discrete-event simulation study of a manufacturing plant. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 6, p. 534-548, 2005.

GUDEHUS, Timm; KOTZAB, Herbert. Logistic Pricing and Marketing. **Comprehensive Logistics**, p. 157-184, 2009. doi: 10.1007/978-3-642-24367-7_7

GUPTA, AmitKumar; SIVAKUMAR, Appa Iyer. Job shop scheduling techniques in semiconductor manufacturing. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 27, n. 11-12, p. 1163-1169, Fev. 2006. doi: 10.1007/s00170-004-2296-z

H Aidari, Leila A.; Connor, Diana L.; Wateska, Angela R.; Brown, Shawn T.; Mueller, Leslie E.; Norman, Bryan A.; Schmitz, Michelle M.; Paul, Prama; Rajgopal, Jayant; Welling, Joel S.; Leonard, Jim; Chen, Sheng-I; Lee, Bruce Y.

Augmenting Transport versus Increasing Cold Storage to Improve Vaccine Supply Chains. **Plos One**, v. 8, n. 5, Mai. 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0064303

H Aidari, Leila A.; Connor, Diana L.; Wateska, Angela R.; Brown, Shawn T.; Mueller, Leslie E.; Norman, Bryan A.; Schmitz, Michelle M.; Paul, Proma; Rajgopal, Jayant; Welling, Joel S.; Leonard, Jim; Claypool, Erin G.; Weng, Yu-Ting; Chen, Sheng-I; Lee, Bruce Y.. Only Adding Stationary Storage to Vaccine Supply Chains May Create and Worsen Transport Bottlenecks. **Journal of Public Health Management and Practice**, v. 19, p. S65-S67, Set-Out. 2013. doi: 10.1097/PHH.0b013e31828a83fe

Hamrock, Eric; Paige, Kerrie; Parks, Jennifer; Scheulen, James; Levin, Scott. Discrete Event Simulation for Healthcare Organizations: A Tool for Decision Making. **Journal of Healthcare Management**, v. 58, n. 2, p. 110-124, Mar-Apr. 2013.

HAO, Qi; SHEN, Weiming. Implementing a hybrid simulation model for a Kanban-based material handling system. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 24, n. 5, p. 635-646, 2008.

HARPRING, Russell; EVANS, Gerald W.; BARBER, Rod; DECK, Stacy M. Improving efficiency in social services with discrete event simulation. **Computers & Industrial Engineering**, v. 70, p. 159-167, Abr. 2014. doi: 10.1016/j.cie.2014.01.016

HARRELL, Charles R.; PRICE, Rochelle N. Simulation modeling using promodel technology: simulation modeling using promodel technology. In: **Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation**. Winter Simulation Conference, 2003. p. 175-181.

HARRELL, Charles R.; TUMAY, Ken. ProModel tutorial. In: **Proceedings of the 24th conference on Winter simulation**. ACM, 1992. p. 405-410.

HARRELL, Charles; BOWDEN, Royce; GHOSH, Biman K. **Simulation using promodel**. McGraw-Hill Higher Education, 2000.

HARRELL, Charles; GHOSH, Biman K.; BOWDEN, Royce O. **Simulation using promodel**. Boston: McGraw-Hill, 2011.

HERTZ, Philipp; CAVALIERI, Sergio; FINKE, Gandolf R.; DUCHI, Aldo; SCHÖNSLEBEN, Paul. A simulation-based decision support system for industrial field service network planning. **Simulation-Transactions of the Society for Modeling and Simulation International**, v. 90, n. 1, p. 69-84, 2014. doi: 10.1177/0037549713512685

HLUPIC, V.; PAUL, R. A framework for evaluating manufacturing simulators. In: **Proceeding of 2nd Int. Conference of Modeling and Simulation SYS'93**. 1996.

HLUPIC, Vlatka; MANN, Amardeep Singh. SimSelect: a system for simulation software selection. In: **Simulation Conference Proceedings**, 1995. Winter. IEEE, 1995. p. 720-727.

HOLDER, Karen. Selecting simulation software. **OR insight**, v. 3, n. 4, p. 19-24, 1990.

HOLST, Lars; BOLMSJÖ, Gunnar. Simulation integration in manufacturing system development: a study of Japanese industry. **Industrial Management & Data Systems**, v. 101, n. 7, p. 339-356, 2001.

HOU, Bonan; YAO, Yiping; WANG, Bing; LIAO, Dongsheng. Modeling and simulation of large-scale social networks using parallel discrete event simulation. **Simulation-Transactions of the Society for Modeling and Simulation International**, v. 89, n. 10, p. 1173-1183, 2013.

HUERTAS-QUINTERO, Lina A. M. Novel modelling and simulation approaches to support electronics manufacturing in the UK. 2010. Tese de Doutorado. © Lina AM Huertas-Quintero.

HUERTAS-QUINTERO, Lina A. M.; WEST, Andrew A.; VELANDIA, Marcela S.; CONWAY, Paul P.; WILSON, Anthony R. Integrated simulation tool for quality support in the low-volume high-complexity electronics manufacturing domain. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 1, p. 45-68, 2010.

HUSEBY, A. B.; NATVIG, B. Discrete event simulation methods applied to advanced importance measures of repairable components in multistate network flow systems. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 119, p. 186-198, 2013.

INGEMANSSON, Arne; BOLMSJÖ, Gunnar; HARLIN, Ulrika. A survey of the use of the discrete-event simulation in manufacturing industry. In: **Proceedings of the 10th International Manufacturing Conference**. 2002.

INSINGA, Ralph P.; JOYAL, Cédric; GOYETTE, Alexandra; GALARNEAU, André. A discrete event simulation model of clinical and operating room efficiency outcomes of sugammadex versus neostigmine for neuromuscular block reversal in Canada. **BMC Anesthesiology**, v. 16, 2016.

JÄGSTAM, Mats; KLINGSTAM, Pär. General methodology 1: a handbook for integrating discrete event simulation as an aid in conceptual design of manufacturing systems. In: **Proceedings of the 34th conference on Winter simulation: exploring new frontiers**. Winter Simulation Conference, 2002. p. 1940-1944.

JAHANGIRIAN, Mohsen; ELDABI, Tillal; NASEER, Aisha; STERGIOULAS, Lampros K.; YOUNG, Terry. Simulation in manufacturing and business: A review. **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 1, p. 1-13, 2010.

JAIN, Sanjay; LINDSKOG, Erik; ANDERSSON, Jon; JOHANSSONB, Björn. A hierarchical approach for evaluating energy trade-offs in supply chains. **International Journal of Production Economics**, v. 146, n. 2, p. 411-422, Dez. 2013.

JAMALNIA, A.; FEILI, A. A simulation testing and analysis of aggregate production planning strategies. **Production Planning & Control**, v. 24, n. 6, p. 423-448, 2013.

JERBI, Abdessalem; CHTOUROU, Hédi; MAALEJ, Aref Y. Functional VS cellular layout: using simulation as a comparison tool. In: **Third International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Mechanics**, Hammamet. 2006.

JIMENEZ, Jesus A.; MACKULAK, Gerald T.; FOWLER, John W. Levels of capacity and material handling system modeling for factory integration decision making in semiconductor wafer fabs. **IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing**, v. 21, n. 4, p. 600-613, 2008.

JITHAVECH, Id; KRISHNAN, Krishna Kumar. A simulation-based approach for risk assessment of facility layout designs under stochastic product demands. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 49, n. 1-4, p. 27-40, 2010.

JOVANOSKI, Bojan; MINOVSKI, Robert N.; LICHTENEGGER, Gerald; VOESSNER, Siegfried. Managing strategy and production through hybrid simulation. **Industrial Management & Data Systems**, v. 113, n. 8, p. 1110-1132, 2013. doi: 10.1108/IMDS-09-2012-0342

JOVANOVIĆ, Vukica; STEVANOVIĆ, Branislav; ŠEŠLIJA, Dragan; DUDIĆ, Slobodan; TEŠIĆ, Zdravko. Energy efficiency optimization of air supply system in a water bottle manufacturing system. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 306-317, Dez. 2014. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.03.021

KELTON, W. David; LAW, Averill M. **Simulation modeling and analysis**. Boston: McGraw Hill, 2000.

KELTON, W. David; SADOWSKI, Randall P.; SWETS, Nancy B. **Simulation with Arena**, v. 5, Boston: McGraw-Hill, 2010.

KELTON, W. David; SMITH, Jeffrey S.; STURROCK, David T. **Simio & simulation: Modeling, analysis, applications**. Learning Solutions, 2011.

KIM, C.; LEE, T. E. Modelling and simulation of automated manufacturing systems for evaluation of complex schedules. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 12, p. 3734-3747, 2013.

KINRA, Aseem; KOTZAB, Herbert. A macro-institutional perspective on supply chain environmental complexity. **International Journal of Production Economics**, v. 115, n. 2, p. 283-295, 2008.

KOH, S. C. L.; SAAD, S. M. MRP-controlled manufacturing environment disturbed by uncertainty. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 19, n. 1, p. 157-171, 2003.

KUNKEL, A.; MCLAY, L. A. Determining minimum staffing levels during snowstorms using an integrated simulation, regression, and reliability model. **Health Care Management Science**, v. 16, n. 1, p. 14-26, 2013.

LAM, Sean S. W.; ZHANG, Ji; ZHANG, Zhong C.; OH, Hong C.; OVERTON, Jerry; NG, Yih Y.; ONG, Marcus E. H. Dynamic ambulance reallocation for the reduction of ambulance response times using system status management. **American Journal of Emergency Medicine**, v. 33, n. 2, p. 159-166, Fev. 2015. doi: 10.1016/j.ajem.2014.10.044

LAMBERT, Douglas M. Logistics cost, productivity, and performance analysis. **The logistics handbook**. New York, p. 260-302, 1994.

LAMBERT, Douglas M.; ARMITAGE, Howard M. Distribution costs: the challenge. **Management Accounting**, v. 60, n. 11, p. 33-45, 1979.

LANCIONI, Richard. Distribution cost accounting in international logistics. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 21, n. 8, p. 12-16, 1991.

LAW, Averill M. Designing a simulation study: how to conduct a successful simulation study. In: **Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation**. Winter Simulation Conference, 2003. p. 66-70.

LAW, Averill M. How to build valid and credible simulation models. In: **Proceedings of the 40th Conference on Winter Simulation**. Winter Simulation Conference, 2008. p. 39-47.

LAW, Averill M. **Simulation Modeling & Analysis**. 4. ed. Boston: Ed. McGraw-Hill, 2007.

LAW, Averill M.; MCCOMAS, Michael G. Simulation of manufacturing systems. In: **Proceedings of the 30th conference on Winter simulation**. IEEE Computer Society Press, 1998. p. 49-52.

LAW, Averill M.; MCCOMAS, Michael G. Simulation of manufacturing systems. In: **Proceedings of the 30th conference on Winter simulation**. IEEE Computer Society Press, 1998. p. 49-52.

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: **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO**, 40. Anais... João Pessoa, PB, 2008.

LIM, Morgan E.; WORSTER, Andrew; GOEREE, Ron; TARRIDE, Jean-Éric. Simulating an emergency department: the importance of modeling the interactions between physicians and delegates in a discrete event simulation. **BMC Medical Informatics and Decision Making**, v. 13, Mai. 2013. doi: 10.1186/1472-6947-13-59

LIU, Hong; ZHANG, Qishan; WANG, Wenping. Research on location-routing problem of reverse logistics with grey recycling demands based on PSO. **Grey Systems: Theory and Application**, v. 1, n. 1, p. 97-104, 2011.

LOBÃO, Elidio C.; PORTO, Arthur José V. Proposta para sistematização de estudos de simulação. In: **XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP**. Anais... Gramado, RS, 1997.

LÖFSTRAND, Magnus; KYÖSTI, Petter; REED, Sean; BACKE, Björn. Evaluating availability of functional products through simulation. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 47, p. 196-209, Set. 2014. doi: 10.1016/j.simpat.2014.05.011

LU, W. Z.; OLOFSSON, T. . Building information modeling and discrete event simulation: Towards an integrated framework. **Automation in Construction**, v. 44, p. 73-83, 2014.

MACIEL, A. C. Avaliação da Simulação a Eventos Discretos, Projeto de Experimentos e Função Desejabilidade para Verificar a Viabilidade de Metas Estabelecidas para uma Célula de Manufatura. Dissertação (Mestrado). Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.

MACIEL, A. C.; MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. C.; FAGUNDES, L. D. Análise do Impacto dos Tempos de Setup na Disponibilidade Operacional de uma Máquina de Corte através da Simulação a Eventos Discretos. In: **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 19, 2012, Anais... Bauru, SP, 2012.

MAHDAVI, Iraj; SHIRAZI, Babak. A review of simulation-based intelligent decision support system architecture for the adaptive control of flexible manufacturing systems. **Journal of Artificial Intelligence**, v. 3(4), p. 201-219, 2010.

MALMI, Teemu; BROWN, David A. Management control systems as a package—Opportunities, challenges and research directions. **Management accounting research**, v. 19, n. 4, p. 287-300, 2008.

MANGRAM, Alicia J.; HORAN, Teresa C.; PEARSON, Michele L.; SILVER, Leah C.; JARVIS, William R. Guideline for prevention of surgical site infection, 1999. **American**

journal of infection control, v. 27, n. 2, p. 97-134, Abr. 1999. doi: 10.1016/S0196-6553(99)70088-X

MARDAN, N.; KLAHR, R. Combining optimisation and simulation in an energy systems analysis of a Swedish iron foundry. **Energy**, v. 44, n. 1, p. 410-419, 2012.

MARIA, Anu. Introduction to modeling and simulation. In: **Proceedings of the 29th conference on Winter simulation**. IEEE Computer Society, 1997. p. 7-13.

MARR, Bernard; NEELY, Andy. Automating the balanced scorecard–selection criteria to identify appropriate software applications. **Measuring Business Excellence**, v. 7, n. 3, p. 29-36, 2003.

MARTINS, M. S. R.; FUCHS, S. C.; PANDO, L. U.; LÜDERS, R.; DELGADO, M. R. PSO with path relinking for resource allocation using simulation optimization. **Computers & Industrial Engineering**, v. 65, n. 2, p. 322-330, Jun. 2013. doi: 10.1016/j.cie.2013.02.004

MCHANEY, Roger. **Computer simulation: a practical perspective**. San Diego, Academic press, 1991.

MCKINNON, Sharon M.; BRUNS JR, William J. The information mosaic: How managers get the information they really need. **Harvard Business School Press**, 1992.

MEHRA, S.; INMAN, R. A.; TUIITE, G. A simulation-based comparison of batch sizes in a continuous processing industry. **Production Planning & Control**, v. 17, n. 1, p. 54-66, 2006.

MEIXELL, Mary J.; GARGEYA, Vidyaranya B. Global supply chain design: A literature review and critique. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 41, n. 6, p. 531-550, 2005.

MELLO, Marina Santos; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra; DE CARVALHO MIRANDA, Rafael. Análise do impacto das paradas de máquina em uma empresa farmacêutica por meio da simulação. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 6, n. 12, p. 48-72, 2015.

MELOUK, Sharif H.; FREEMAN, Nickolas K.; MILLER, David; DUNNING, Michelle. Simulation optimization-based decision support tool for steel manufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 141, n. 1, p. 269-276, Jan. 2013. doi: 10.1016/j.ijpe.2012.08.001

MENGA, Chao; XU, Dong; SON, Young-Jun; KUBOTA, Chieri; LEWIS, Myles; TRONSTAD, Russell. An integrated simulation and AHP approach to vegetable grafting operation design. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 102, p. 73-84, Mar. 2014. doi: 10.1016/j.compag.2014.01.007

MENTZER, John T.; KONRAD, Brenda Ponsford. An efficiency/effectiveness approach to logistics performance analysis. **Journal of business logistics**, v. 12, n. 1, p. 33-62, 1991.

MIELCZAREK, Bożena; UZIAŁKO-MYDLIKOWSKA, Justyna. Application of computer simulation modeling in the health care sector: a survey. **Simulation**, p. 0037549710387802, 2010.

MILLER, T. Air vs. Ocean: Two critical factors. **Distribution**, v. 90, p. 46-52, 1991.

MIRANDA, Rafael C.; RIBEIRO, Janaína R.; MONTEVECHI, José Arnaldo B.; DE PINHO, Alexandre F. Avaliação da operação de setup em uma célula de manufatura de uma indústria de autopeças através da simulação a eventos discretos. **Revista Gestão Industrial**, v. 6, n. 3, 2010. doi: 10.3895/S1808-044820100003

MITROFF, I. I.; BETZ, F.; PONDY, L. R.; SAGASTI, F. On managing science in the system age: two schemas for the study of science as a whole system phenomenon. **Interfaces**, v. 4, n. 3, p. 46-58, 1974.

MJEMA, Emanuel AM. An analysis of personnel capacity requirement in the maintenance department by using a simulation method. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 8, n. 3, p. 253-273, 2002.

MONTEVECHI, José Arnaldo B.; LEAL, Fabiano; DE PINHO, Alexandre F.; COSTA, Rafael F. S.; DE OLIVEIRA, Mona Liza M.; DA SILVA, André Luís F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: **Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2010 Winter**. IEEE, 2010. p. 1624-1635.

MONTOYA-TORRES, J. R. A literature survey on the design approaches and operational issues of automated wafer-transport systems for wafer fabs. **Production Planning & Control**, v. 17, n. 7, p. 648-663, 2006.

NANDKELYAR, U.; CHRISTY, David P. Using computer simulation to optimize flexible manufacturing systems design. In: **Proceedings of the 21st conference on Winter simulation**. ACM, 1989. p. 396-405.

NASEER, Aisha; ELDABI, Tillal; JAHANGIRIAN, Mohsen. Cross-sector analysis of simulation methods: a survey of defense and healthcare. **Transforming Government: People, Process and Policy**, v. 3, n. 2, p. 181-189, 2009.

NEGAHBAN, Ashkan; SMITH, Jeffrey S. Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 33, n. 2, p. 241-261, 2014.

NEGAHBAN, Ashkan; YILMAZ, Levent. Agent-based simulation applications in marketing research: an integrated review. **Journal of Simulation**, v. 8, n. 2, p. 129-142, 2014.

NIKOUKARAN, Jalal; HLUPIC, Vlatka; PAUL, Ray J. Criteria for simulation software evaluation. In: **Proceedings of the 30th conference on Winter simulation**. IEEE Computer Society Press, 1998. p. 399-406.

NIKOUKARAN, Jalal; PAUL, Ray J. Software selection for simulation in manufacturing: a review. **Simulation practice and theory**, v. 7, n. 1, p. 1-14, 1999.

NOORUL HAQ, A.; KANNAN, G. Design of an integrated supplier selection and multi-echelon distribution inventory model in a built-to-order supply chain environment. **International Journal of Production Research**, v. 44, n. 10, p. 1963-1985, 2006.

NOURINEJAD, M.; ROORDA, M. J. A dynamic carsharing decision support system. **Transportation Research Part e-Logistics and Transportation Review**, v. 66, p. 36-50, 2014.

NYLUND, Hasse; ANDERSSON, Paul H. Simulation of service-oriented and distributed manufacturing systems. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 26, n. 6, p. 622-628, 2010.

NYLUND, Hasse; SALMINEN, Kai; ANDERSSON, Paul. Digital virtual holons—an approach to digital manufacturing systems. In: **Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier**. Springer London, 2008. p. 103-106.

OSTLUND, H. J. Cost analysis for wholesale operations with special reference to wholesale druggists. **National Association of Cost Accountants (NACA) Bulletin**, v. 12, n. 7, p. 567-603, 1930.

PADHI, Sidhartha S.; WAGNER, Stephan M.; NIRANJAN, Tarikere T.; AGGARWAL, Vijay. A simulation-based methodology to analyse production line disruptions. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 6, p. 1885-1897, 2013. doi: 10.1080/00207543.2012.720389

PAGE JR, Ernest H. Simulation modeling methodology: principles and etiology of decision support. 1994. Tese de Doutorado. Virginia Polytechnic Institute and State University.

PAPANAGNOU, Christos Ioannis; HALIKIAS, George D. Simulation and modelling methods in aluminium rolling industry. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 53, n. 9-12, p. 993-1018, 2011.

PAPAVASILEIOU, V.; KOULOURIS, A.; SILETTI, C.; PETRIDES, D. Optimize manufacturing of pharmaceutical products with process simulation and production scheduling

tools. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 85, n. 7, p. 1086-1097, 2007. doi: 10.1205/cherd06240

PEGELS, C. C.; NARAYAN, P. S. Simulation as a planning technique for a complex machine shop. **The International Journal of Production Research**, v. 14, n. 3, p. 387-400, 1976.

PEREZ, J.; DE LOOZE M. P., ; BOSCH, T.; NEUMANN, W. P. Discrete event simulation as an ergonomic tool to predict workload exposures during systems design. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 44, n. 2, p. 298-306, 2014.

PERME, Tomaž. Modelling and discrete simulation for the sustainable management of production and logistics issues. **Transactions of FAMENA**, v. 35, n. 1, 2011.

PETTERSSON, Annelie I.; SEGERSTEDT, Anders. Measuring supply chain cost. **International Journal of Production Economics**, v. 143, n. 2, p. 357-363, 2013.

PETTERSSON, Annelie I.; SEGERSTEDT, Anders. Performance measurements in supply chains within Swedish industry. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 9, n. 1, p. 69-88, 2011.

PIANCASTELLI, Marcelo; PEROBELLI, Fernando. **ICMS: evolução recente e guerra fiscal**. 1996.

PIDD, Michael. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Bookman, Porto Alegre/RS, 1998.

PIDD, Michael. **Tools for thinking; modelling in management science**. John Wiley and Sons Ltd, 2009.

PLATTS, K. W.; SONG, N. Overseas sourcing decisions-the total cost of sourcing from China. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 15, n. 4, p. 320-331, 2010.

POHLEN, Terrance L.; KLAMMER, Thomas P.; COKINS, Gary. **The Handbook of Supply Chain Costing**. 2009.

PONSIGNON, T.; MONCH, L. Simulation-based performance assessment of master planning approaches in semiconductor manufacturing. **Omega-International Journal of Management Science**, v. 46, p. 21-35, 2014.

PRESTON, A. Budgeting, creativity and culture. **Issues in management accounting**, p. 273-98, 1995.

PRESTON, Alistair. Interactions and arrangements in the process of informing. **Accounting, Organizations and Society**, v. 11, n. 6, p. 521-540, 1986.

PRICE, Rochelle N.; HARRELL, Charles R. Simulation modeling and optimization using ProModel. In: **Simulation Conference Proceedings, 1999 Winter**. IEEE, 1999. p. 208-214.

PRITSKER, A. Alan B.; ALAN, B. **Principles of simulation modeling**. Wiley, New York, 1998.

RAKIMAN, UmolSyamsyul Bin; BON, Abdul Talib. Production Line: Effect of Different Inspection Station Allocation. **Procedia Engineering**, v. 53, p. 509-515, 2013.

RAMÍREZ-GRANADOS, M.; HERNÁNDEZ, J. E.; LYONS, A. C. A Discrete-event Simulation Model for Supporting the First-tier Supplier Decision-Making in a UK's Automotive Industry. **Journal of applied research and technology**, v. 12, n. 5, p. 860-870, 2014.

RANG, H. P.; DALE, M. M.; RITTER, J. M.; FLOWER, R. J. **Rang & Dale: Farmacologia**. 7.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

RANTASILA, Karri. Measuring logistics costs. Designing a generic model for assessing macro logistics costs in a global context with empirical evidence from the manufacturing and trading industries, **Turun kauppakorkeakoulu njulkaisuja (väitöskirja) A-8**: 2013.

RENNA, P.; AMBRICO, M. Design and reconfiguration models for dynamic cellular manufacturing to handle market changes. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 28, n. 2, p. 170-186, 2015.

ROBINSON, Stewart. Choosing the right model: conceptual modeling for simulation. In: **Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2011 Winter**. IEEE, 2011. p. 1423-1435.

ROBINSON, Stewart. Conceptual modeling for simulation. In: **Simulation Conference (WSC), 2013 Winter**. IEEE, 2013. p. 377-388.

ROBINSON, Stewart. Conceptual modeling for simulation: issues and research requirements. In: **Proceedings of the 38th conference on Winter simulation**. Winter Simulation Conference, 2006. p. 792-800.

RODRIGUES, Ubirajara; MONTEVECHI, José Arnaldo B.; MIRANDA, Rafael C.; PEREIRA, Luiz Fernando. Aplicação de simulação a eventos discretos e arranjo ortogonal de Taguchi na otimização de uma célula de manufatura. **XLIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, n. 44, 2012.

ROSS, Sheldon. M. **Simulation**, v. 4, Burlington, Academic Press, 2006.

RUIZ, Rubén; VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, José Antonio. The hybrid flow shop scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, v. 205, n. 1, p. 1-18, 2010.

RUSHTON, Alan; CROUCHER, Phil; BAKER, Peter. **The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain**. Kogan Page Publishers, 2014.

SAATY, Thomas L. **The analytic hierarchy process: planning**. Priority Setting. Resource Allocation, MacGraw-Hill, New York International Book Company, p. 287, 1980.

SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**. Springer Science & Business Media, 2012.

SADEGHI, Naimeh; FAYEK, Aminah R.; SERESHT, Nima G. A Fuzzy Discrete Event Simulation Framework for Construction Applications: Improving the Simulation Time Advancement. **Journal of Construction Engineering And Management**, v. 142, n. 12, Dez. 2016.

SAHAY, B. S.; GUPTA, A. K. Development of software selection criteria for supply chain solutions. **Industrial Management & Data Systems**, v. 103, n. 2, p. 97-110, 2003.

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.

SAMVEDI, A.; JAIN, V. A grey approach for forecasting in a supply chain during intermittent disruptions. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 26, n. 3, p. 1044-1051, 2013.

SARGENT, Robert G. Verification and validation of simulation models. In: **Proceedings of the 37th conference on Winter simulation**. Winter simulation conference, 2005. p. 130-143.

SARGENT, Robert G. Verification and validation of simulation models. **Journal of simulation**, v. 7, n. 1, p. 12-24, 2013.

SARKIS, Joseph; SUNDARRAJ, R. P. Factors for strategic evaluation of enterprise information technologies. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 30, n. 3/4, p. 196-220, 2000.

SAVÉN, Bengt. **Verksamhetsmodeller för beslutstöd och lärande: en studie av diskret produktionssimulering vid Asea/ABB 1968-1993**. Univ. , 1995.

SCHARY, Philip B. A strategic problem in logistics control. **International Journal of Physical Distribution & Materials Management**, v. 15, n. 5, p. 36-50, 1985.

SCHUTZ, J.; REZG, N. Maintenance strategy for leased equipment. **Computers & Industrial Engineering**, v. 66, n. 3, p. 593-600, 2013.

SEILA, Andrew F. Introduction to simulation. In: **Proceedings of the 27th conference on Winter simulation**. IEEE Computer Society, 1995. p. 7-15.

SEOW, Yingying; RAHIMIFARD, Shahin; WOOLLEY, Elliot. Simulation of energy consumption in the manufacture of a product. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 26, n. 7, p. 663-680, 2013. doi: 10.1080/0951192X.2012.749533

SHANNON, Robert E. **Systems simulation: the art and science**. v. 1, New Jersey, Prentice-Hall, 1975.

SHARDA, Bikram; BURY, Scott J. A discrete event simulation model for reliability modeling of a chemical plant. In: **Proceedings of the 40th Conference on Winter Simulation**. Winter Simulation Conference, 2008. p. 1736-1740.

SHARDA, Bikram; BURY, Scott J. Bottleneck analysis of a chemical plant using discrete event simulation. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**. Winter Simulation Conference, 2010. p. 1547-1555.

SILVA, W. A. Otimização de parâmetros da gestão baseada em atividades aplicada em uma célula de manufatura. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá. UNIFEI, Itajubá, MG, 2005.

SIMONS, Robert. Levers of control: how managers use innovative control systems to drive strategic renewal. **Harvard Business Press**, 2013.

SMITH, Jeffrey S. Survey on the use of simulation for manufacturing system design and operation. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 22, n. 2, p. 157-171, 2003.

SON, Young Jun; WYSK, Richard A.; JONES, Albert T. Simulation-based shop floor control: formal model, model generation and control interface. **IIE Transactions**, v. 35, n. 1, p. 29-48, 2003.

SOUZA, Denise Luana do Nascimento; TEIXEIRA, Elisama Cruz. PERSPECTIVAS JURÍDICAS E POLÍTICAS DO FIM À GUERRA FISCAL PELO ICMS NAS OPERAÇÕES INTERESTADUAIS. **Raízes Jurídicas**, v. 8, n. 1, p. 221-241, 2016.

STANDFIELD, Lachlan; COMANS, Tracy; SCUFFHAM, Paul. Markov modeling and discrete event simulation in health care: A systematic comparison. **International Journal of Technology Assessment in Health Care**, v. 30, n. 2, p. 165-172, Abr. 2014. doi: 10.1017/S0266462314000117

STARKS, Darrell W.; SCHWIETERS, Robert S.; CRECES, Daniel. A decision support tool for Dofasco's primary steelmaking operations. In: **Simulation Conference, 2006**. WSC 06. Proceedings of the Winter. IEEE, 2006. p. 1985-1988.

STONIER, Adam; PAIN, David; WESTLAKE, Ashley; HUTCHINSON, Nicholas; THORNHILL, Nina F.; FARID, Suzanne S. Integration of Stochastic Simulation with Multivariate Analysis: Short-Term Facility Fit Prediction. **Biotechnology Progress**, v. 29, n. 2, p. 368-377, Mar-Apr. 2013. doi: 10.1002/btpr.1678

SWAIN, James J. Discrete Event Simulation Software Tools: A better reality. **OR/MS Today**, v. 40, n. 5, p. 48-59, October 2013.

TAKO, A. A.; KOTIADIS, K. PartiSim: A multi-methodology framework to support facilitated simulation modelling in healthcare. **European Journal of Operational Research**, v. 244, n. 2, p. 555-564, 2015.

TELTUMBDE, Anand. A framework for evaluating ERP projects. **International journal of production research**, v. 38, n. 17, p. 4507-4520, 2000.

TERZI, Sergio; CAVALIERI, Sergio. Simulation in the supply chain context: a survey. **Computers in industry**, v. 53, n. 1, p. 3-16, 2004.

TEWOLDEBERHAN, Tamrat W.; VERBRAECK, Alexander; VALENTIN, Edwin; BARDONNET, Gilles. Software evaluation and selection: an evaluation and selection methodology for discrete-event simulation software. In: **Proceedings of the 34th conference on Winter simulation: exploring new frontiers**. Winter Simulation Conference, 2002. p. 67-75.

THIEDE, Sebastian; SEOW, Yingying; ANDERSSON, Jon; JOHANSSON, Björn. Environmental aspects in manufacturing system modelling and simulation—State of the art and research perspectives. **CIRP Journal of manufacturing science and technology**, v. 6, n. 1, p. 78-87, 2013. doi: 10.1016/j.cirpj.2012.10.004

TIMME, Stephen G.; WILLIAMS-TIMME, Christine. The real cost of holding inventory. **Supply Chain Management Review**, V. 7, NO. 4 (July/Aug. 2003), P. 30-37: ILL, 2003.

TURNER, Christopher J.; HUTABARAT, Windo; OYEKAN, John; TIWARI, Ashutosh. Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends. **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, v. 46, n. 6, p. 882-894, 2016. doi: 10.1109/THMS.2016.2596099

TYNDALL, Gene R.; BUSER, John R. Improving the management of distribution with cost and financial information. **Journal of Business Logistics**, v. 6, n. 2, 1985.

ULGEN, Onur; GUNAL, Ali. Simulation in the automobile industry. **Handbook of Simulation**, p. 547-570, 1998.

VAN AMSTEL, M. J. P. Physical distribution cost control. **International Journal of Physical Distribution & Materials Management**, v. 15, n. 1, p. 49-60, 1985.

ROSMALEN, Joost van; TOY, Mehlika; O'MAHONY, James F. A Mathematical Approach for Evaluating Markov Models in Continuous Time without Discrete-Event Simulation. **Medical Decision Making**, v. 33, n. 6, p. 767-779, Mai. 2013.

VARSAÑO, Ricardo. A tributação do valor adicionado, o ICMS e as reformas necessárias para conformá-lo às melhores práticas internacionais. **Inter-American Development Bank**, 2014.

VERNADAT, F.; SHAH, L.; ETIENNE, A.; SIADAT, A. VR-PMS: a new approach for performance measurement and management of industrial systems. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 23-24, p. 7420-7438, Fev. 2013. doi: 10.1080/00207543.2012.752593

VIS, Iris FA. Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. **European Journal of Operational Research**, v. 170, n. 3, p. 677-709, 2006.

VITASEK, Kate. **Supply chain management terms and glossary**. Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), 2010.

WEBER, Jürgen. **Logistikkostenrechnung: Kosten-,Leistungs-und Erlösinformationen zur erfolgsorientierten Steuerung der Logistik**. Springer-Verlag, 2012.

WEBER, Matthias; HIETE, Michael; LAUER, Lars; RENTZ, Otto. Low cost country sourcing and its effects on the total cost of ownership structure for a medical devices manufacturer. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 16, n. 1, p. 4-16, Mar. 2010. doi: 10.1016/j.pursup.2009.06.001

WEERAWAT, Waessara; PICHITLAMKEN, Juta; SUBSOMBAT, Peerapong. A Generic Discrete-Event Simulation Model for Outpatient Clinics in a Large Public Hospital. **Journal of Healthcare Engineering**, v. 4, n. 2, p. 285-305, Fev. 2013. doi: 10.1260/2040-2295.4.2.285

WHITE JR, K. Preston; INGALLS, Ricki G. Introduction to simulation. In: **Winter Simulation Conference**. Winter Simulation Conference, 2009. p. 12-23.

WIENDAHL, H. P.; ELMARAGHY, H. A.; NYHUISA, P.; ZÄH, M. F.; WIENDAHL, H. H.; DUFFIE, N.; BRIEKE, M. Changeable manufacturing-classification, design and operation. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 56, n. 2, p. 783-809, 2007. doi: 10.1016/j.cirp.2007.10.003

WILLIAMS, Edward J.; GEVAERT, Andrew. Pallet optimization and throughput estimation via simulation. In: **Proceedings of the 29th conference on Winter simulation**. IEEE Computer Society, 1997. p. 744-749.

WINDISCH, Johannes; RÖSER, Dominik; MOLA-YUDEGO, Blas; SIKANEN, Lauri; ASIKAINEN, Antti. Business process mapping and discrete-event simulation of two forest biomass supply chains. **Biomass & Bioenergy**, v. 56, p. 370-381, Set. 2013. doi: 10.1016/j.biombioe.2013.05.022

YOUNG, Richard R.; SWAN, Peter F.; THOMCHICK, Evelyn A.; RUAMSOOK, Kusumal. Extending landed cost models to improve offshore sourcing decisions. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 39, n. 4, p. 320-335, 2009.

ZDEBSKI, Daniel; AFAZOV, Shukri; RATCHEV, Svetan; SEGAL, Joel. Model Based Planning of Complex Micro-manufacturing Strategies. In: **Precision Assembly Technologies and Systems**. Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 191-199.

ZENG, Amy Z.; ROSSETTI, Christian. Developing a framework for evaluating the logistics costs in global sourcing processes: An implementation and insights. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 33, n. 9, p. 785-803, 2003.

ZIMMERMAN, Jerrold L.; YAHYA-ZADEH, Massood. Accounting for decision making and control. **Issues in Accounting Education**, v. 26, n. 1, p. 258-259, 2011.

ZÜLCH, Gert; ROTTINGER, Sven; VOLLSTEDT, Thorsten. A simulation approach for planning and re-assigning of personnel in manufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 90, n. 2, p. 265-277, 2004.

APÊNDICE

Em mídia CD/RW que acompanha o trabalho de pesquisa.

ANEXO

Em mídia CD/RW que acompanha o trabalho de pesquisa.