

ANÁLISE DA CADEIA DE SUPRIMENTO DE UM COMBUSTÍVEL ESPECIAL  
ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Marcelo Oliveira de Souza

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO.

Aprovada por:

---

Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D.Sc.

---

Prof. Eduardo Saliby, Ph. D.

---

Prof. Mário Jorge Ferreira de Oliveira, Ph. D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
JUNHO DE 2008

SOUZA, MARCELO OLIVEIRA DE

Análise da cadeia de suprimento de um combustível especial através da Simulação Computacional [Rio de Janeiro] 2008

XIII, 161 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia de Produção, 2008)

Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Simulação
2. Otimização da Simulação
3. Cadeia de Suprimento
4. Eficiência Logística
5. Eficiência Econômica

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

*Aos meus pais, José Luiz e Elza,*

*À minha esposa, Roberta, e*

*À minha filha, Jéssica.*

## *AGRADECIMENTOS*

Ao professor Virgílio José Martins Ferreira Filho pela orientação deste trabalho.

Aos professores Eduardo Saliby e Mário Jorge Ferreira de Oliveira por aceitarem o convite para compor a banca examinadora.

Ao CENPES/PETROBRAS pelo apoio e disponibilização de recursos para a realização do curso de Mestrado e para a conclusão desta dissertação.

Aos colegas da gerência de Distribuição, Logística e Transporte do CENPES que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial, ao Luiz Fernando e à Débora pelo incentivo, pelas sugestões e pelo apoio.

À gerência geral de Marketing da área de Abastecimento da Petrobras, às refinarias e à Petrobras Distribuidora pelas informações fornecidas e atenção dispensada. Em especial, a Paschoal Falconi Junior e João Márcio Silveira Thomaz Batalha.

À minha família, fundamental em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, José Luiz e Elza, responsáveis por todas as minhas conquistas, pelo amor, exemplo e dedicação. Aos meus irmãos, Marcos, Carina e Rodrigo, pela amizade e companheirismo.

À minha esposa, Roberta, amor da minha vida, pelo apoio e dedicação e pela paciência em todos os momentos. À minha filha, Jéssica, razão de tudo o que eu faço, pela alegria, pelo carinho e pela inspiração.

A Deus, por tudo.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

## ANÁLISE DA CADEIA DE SUPRIMENTO DE UM COMBUSTÍVEL ESPECIAL ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Marcelo Oliveira de Souza

Maio / 2008

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Programa: Engenharia de Produção

A proposta deste trabalho é desenvolver uma metodologia para análise e apoio à decisão em estudos da cadeia de suprimento de um combustível especial. Essa metodologia é baseada na modelagem e simulação computacional da cadeia de suprimento e na definição de indicadores adequados para avaliar o seu desempenho logístico e econômico.

Um modelo de simulação a eventos discretos foi desenvolvido para a configuração atual da cadeia de suprimento, procurando-se representar os seus principais processos. A partir deste, variações do modelo foram construídas para estudar configurações alternativas e possíveis cenários para o sistema. Foram realizados também estudos de sensibilidade de determinadas variáveis sobre os resultados da cadeia. A metodologia foi complementada com a utilização de uma ferramenta integrada ao simulador para “automatizar” a busca pelas melhores alternativas. É o que na literatura se chama de “otimização da simulação”.

Os resultados obtidos nos experimentos se mostraram coerentes com a realidade, a metodologia proposta se mostrou eficaz como ferramenta de análise e apoio à decisão em estudos deste tipo.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

## ANALYSIS OF THE SPECIAL-GRADE FUEL SUPPLY CHAIN THROUGH COMPUTATIONAL SIMULATION

Marcelo Oliveira de Souza

May / 2008

Advisor: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Department: Production Engineering

The objective of this work is to develop a methodology for analysis and support of decision-making in studies of a special-grade fuel supply chain. This methodology is based on the modeling and computational simulation of the supply chain and on the definition of adequate measures to evaluate its logistic and economic performance.

A Discrete-Event Simulation Model was developed for the supply chain current configuration, where its main processes were represented. From this, variations of the model were constructed to study alternative configurations and likely scenarios for the system. Studies of sensitivity of some variables on the supply chain results were also made. The methodology was complemented by use of an integrated tool to the simulator to “automatize” the search for the best alternatives. In literature, it is called “simulation optimization”.

The results of the simulated experiments were consistent with reality, so the methodology can be considered efficient as tool for analysis and support of decision-making in studies of this type.

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Contextualização do problema .....	1
1.2	Objetivos .....	1
1.3	Estrutura da dissertação .....	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1	Definições de Logística e cadeia de suprimento .....	3
2.2	Avaliação de Desempenho Logístico.....	7
2.3	Avaliação de Desempenho Econômico .....	14
2.4	Simulação Computacional .....	18
2.4.1	O processo de simulação.....	20
2.4.2	Passos para a construção do modelo.....	22
3	A CADEIA DE SUPRIMENTO DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL .....	24
3.1	Aquisição, produção e armazenamento dos componentes .....	25
3.2	Formulação do combustível especial.....	26
3.3	Transferência para os terminais de distribuição .....	28
3.4	Distribuição para os postos de gasolina .....	28
4	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL .....	30
4.1	Definição do problema .....	30
4.2	Modelo conceitual .....	31
4.3	Coleta e tratamento dos dados .....	34
4.4	Modelo computacional .....	39
4.4.1	Escolha do simulador.....	40
4.4.2	Parâmetros de entrada do modelo.....	41
4.4.3	Parâmetros de simulação .....	46
4.4.4	Descrição da lógica do modelo .....	51
4.4.5	Relatório de saída .....	63
4.5	Verificação e validação do modelo .....	65
5	AValiação DE DESEMPENHO.....	69
5.1	Desempenho Logístico .....	69
5.1.1	Indicadores de produção.....	70
5.1.2	Indicadores de armazenagem/estoque.....	70
5.1.3	Indicadores de movimentação .....	73

5.1.4	Indicadores de venda.....	73
5.1.5	Custos Logísticos.....	74
5.2	Desempenho Econômico.....	76
5.2.1	Definição de EVA <sup>®</sup> – Economic Value Added.....	77
5.2.2	Aplicação da metodologia EVA para avaliação da cadeia de suprimento do combustível especial .....	78
6	OTIMIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO .....	85
6.1	A abordagem meta-heurística.....	86
6.1.1	A meta-heurística do OptQuest: Scatter Search.....	87
6.2	Como funciona o processo de otimização .....	89
6.3	Preparo do modelo de simulação para a otimização .....	91
6.4	Preparo da otimização .....	92
6.5	Execução da otimização .....	97
7	EXPERIMENTOS .....	99
7.1	Estudos de eficiência logística e econômica da cadeia de suprimento .....	99
7.1.1	Retirada do componente 2 da formulação do combustível especial.....	100
7.1.2	Variações no sistema de produção.....	103
7.2	Estudos de capacidade máxima de produção .....	106
7.3	Estudos paramétricos – otimização de resultados.....	113
7.3.1	Quantidade de bicos para carga e descarga de caminhões – Maximizar EVA.....	114
7.3.2	Maximizar a demanda média mensal pelo combustível especial .....	120
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	125
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	129
	APÊNDICES .....	134
	Apêndice A Glossário .....	135
	Apêndice B Memórias de cálculo do EVA .....	138
	B.1 Despesas de Movimentação de Produtos .....	138
	B.2 Estoques .....	140
	B.3 Investimentos em ativos de longo prazo.....	141
	Apêndice C Indicadores de desempenho obtidos em experimentos de análise da cadeia .....	142
	C.1 Cenário sem o componente 2 .....	142
	C.2 Cenário sem a refinaria 2 (a) .....	145
	C.3 Cenário sem a refinaria 2 (b) .....	148

C.4	Cenário Ampliação Total.....	151
Apêndice D	Arquivo LOG do 1º experimento de otimização (as 10 melhores soluções encontradas) .....	154
Apêndice E	Ranking das melhores soluções encontradas no 1º experimento de otimização .....	157
Apêndice F	Arquivos LOG do 2º experimento de otimização .....	158
F.1	1ª Etapa .....	158
F.2	2ª Etapa .....	159
F.3	3ª Etapa .....	160

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: SCM: Integrando e gerenciando os processos de negócio através da cadeia de suprimento LAMBERT <i>et al.</i> , 1998 .....	9
Figura 2.2: SCM: Integrando e gerenciando os processos de negócio através da cadeia de suprimento LAMBERT, 2004 .....	9
Figura 2.3: O Modelo EVA.....	17
Figura 2.4: Como o EVA impacta a competitividade .....	17
Figura 2.5: Abordagens de Estudo de Problemas Reais.....	21
Figura 2.6: O Processo de Simulação .....	22
Figura 3.1: Cadeia de suprimentos do combustível especial .....	24
Figura 4.1: Cadeia de suprimentos do combustível especial com 1 tanque para Formulação na refinaria 1.....	32
Figura 4.2: Cadeia de suprimentos do combustível especial com a Ampliação do Sistema de Produção da refinaria 2 .....	33
Figura 4.3: Cadeia de suprimentos do combustível especial com as duas Alterações no Sistema de Produção .....	33
Figura 4.4: Tempos de acoplamento no terminal C.....	39
Figura 4.5: Gráfico da média amostral sobre o semi-intervalo de confiança.....	49
Figura 4.6: Processos de produção e retirada do componente 1 e produção do produto A.....	51
Figura 4.7: Macrofluxograma do Modelo de Simulação .....	52
Figura 4.8: Processos de compra e entrega do componente 2 para o pólo 1.....	54
Figura 4.9: Processo de Formulação do combustível especial no pólo 1 .....	55
Figura 4.10: Processo de transferência para os terminais de distribuição .....	57
Figura 4.11: Processo de Formulação do combustível especial no pólo 2 .....	58
Figura 4.12: Animação completa do modelo .....	63
Figura 5.1: Evolução dos estoques nos tanques de formulação do combustível especial .....	71
Figura 5.2: Evolução dos estoques dos componentes do combustível especial.....	71
Figura 5.3: Análise por faixa de estoque dos tanques de armazenagem do combustível especial dos terminais de distribuição.....	73
Figura 5.4: Conceito ilustrado de EVA® .....	77
Figura 5.5: Exemplo ilustrativo de EVA® .....	78
Figura 6.1: Abordagem caixa-preta para a otimização da simulação.....	86

Figura 6.2: Acionamento do OptQuest a partir do Arena .....	89
Figura 6.3: Definição dos Controles no OptQuest .....	93
Figura 6.4: Definição das Variáveis de Resposta no OptQuest .....	94
Figura 6.5: Definição das Restrições no OptQuest .....	94
Figura 6.6: Definição da F. Objetivo no OptQuest.....	95
Figura 6.7: Soluções Sugeridas para o OptQuest .....	96
Figura 6.8: Definição das Opções de Otimização do OptQuest .....	97
Figura 6.9: Andamento da Otimização no Optquest.....	98
Figura 7.1: Comparação entre o Cenário Base e o Cenário sem o componente 2....	102
Figura 7.2: Esquemas da cadeia de sem a refinaria 2 com e sem um tanque para formulação na refinaria 1 .....	104
Figura 7.3: Comparação entre as 4 variações do sistema de produção do combustível especial .....	105
Figura 7.4: Configuração atual – Tanques de formulação.....	108
Figura 7.5: Projeto de ampliação da refinaria 1 – Tanques de formulação .....	108
Figura 7.6: Projeto de ampliação da refinaria 2 – Tanques de formulação .....	109
Figura 7.7: Projeto de ampliação total – Tanques de formulação .....	109
Figura 7.8: Aumento da quantidade de bicos nos tanques de formulação na refinaria 2.....	110
Figura 7.9: Capacidade Máxima de Produção .....	111
Figura 7.10: Lead Time Total.....	112
Figura 7.11: Experimento de otimização 1 – Resultados encontrados .....	117
Figura 7.12: Experimento de otimização 1 – Resultados das 20 primeiras simulações.....	117
Figura 7.13: Experimento de otimização 2 – Resultados encontrados na 1ª etapa ...	122
Figura 7.14: Experimento de otimização 2 – Resultados encontrados na 2ª etapa ...	123
Figura 7.15: Experimento de otimização 2 – Resultados encontrados na 3ª etapa ...	124
Figura C.1: Análise por faixa de estoque dos tanques dos terminais de distribuição - Cenário sem o componente 2 - 4000 m <sup>3</sup> /mês.....	143
Figura C.2: Análise por faixa de estoque dos tanques dos terminais de distribuição - Cenário sem a refinaria 2 (a) - 4000 m <sup>3</sup> /mês .....	146
Figura C.3: Análise por faixa de estoque dos tanques dos terminais de distribuição - Cenário sem a refinaria 2 (b) - 4000 m <sup>3</sup> /mês .....	149
Figura C.4: Análise por faixa de estoque dos tanques dos terminais de distribuição - Cenário Ampliação Total - 4000 m <sup>3</sup> /mês.....	152

## TABELAS

Tabela 3.1: Áreas de cobertura dos Terminais de Distribuição .....	29
Tabela 4.1: Vendas Mensais por terminal e Áreas de Cobertura.....	36
Tabela 4.2: Desvio-Padrão das Vendas Mensais.....	36
Tabela 4.3: Sazonalidade por Dia da Semana .....	36
Tabela 4.4: Tempo de viagem entre os fornecedores do componente 2 e os pólos produtores do combustível especial .....	37
Tabela 4.5: Distâncias entre os pólos Produtos e os Terminais de Distribuição.....	37
Tabela 4.6: Distâncias entre os Terminais e suas Áreas de Cobertura .....	37
Tabela 4.7: Dados de Entrada – Compra do componente 2, Produção do componente 1 e Formulação.....	42
Tabela 4.8: Dados de Entrada – Tancagem, Vazão, Bicos, Transporte e Distâncias .....	44
Tabela 4.9: Dados de Entrada – Vendas Mensais, Desvios-Padrão e Sazonalidade por dia da semana .....	45
Tabela 4.10: Relatório de saída do modelo com 8 replicações para tanques.....	50
Tabela 4.11: Demanda agregada por pólo de produção .....	56
Tabela 4.12: Informações do fluxo de produtos exportadas ao final da corrida de simulação. Detalhe: Estoque Dia .....	65
Tabela 4.13: Balanço de massa do fluxo dos componentes nos tanques de armazenagem.....	68
Tabela 4.14: Balanço de massa do fluxo do combustível especial nos tanques de armazenagem.....	68
Tabela 5.1: Custo de oportunidade do combustível especial.....	70
Tabela 5.2: Indicadores de armazenagem / estoque .....	71
Tabela 5.3: Indicadores de venda .....	74
Tabela 5.4: Custos logísticos: produção, transferência, tancagem / estoque .....	75
Tabela 5.5: Custos logísticos: distribuição e venda perdida, resumo dos custos .....	76
Tabela 5.6: Vendas mensais (m <sup>3</sup> ) – empresa produtora e empresa distribuidora.....	79
Tabela 5.7: Planilha de cálculo do NOPAT para a refinaria 1 .....	80
Tabela 5.8: Planilha de cálculo do NOPAT para a Gerência de Vendas 1 .....	81
Tabela 5.9: Planilha de cálculo do Capital Investido para a refinaria 1 .....	82
Tabela 5.10: Planilha de cálculo do Capital Investido para a Gerência de Vendas 1 .....	82

Tabela 5.11: Planilha de cálculo do EVA para a refinaria 1 .....	83
Tabela 5.12: Planilha de cálculo do EVA para a Gerência de Vendas 1.....	83
Tabela 5.13: EVA – resumo dos resultados da cadeia de suprimento.....	83
Tabela 6.1: Implementações comerciais de meta-heurísticas baseadas em aproximações evolucionárias em softwares de simulação.....	87
Tabela 7.1: Dados de entrada do Cenário Base .....	101
Tabela 7.2: Quadro comparativo do custo de oportunidade entre os cenários.....	101
Tabela 7.3: Quadro comparativo dos estudos de capacidade máxima de produção.....	113
Tabela 7.4: Experimento de otimização 1 – Variáveis de controle.....	115
Tabela 7.5: Experimento de otimização 1 – Variáveis de resposta.....	115
Tabela 7.6: : Experimento de otimização 1 – Soluções sugeridas .....	116
Tabela 7.7: Experimento de otimização 1 – Solução ótima encontrada.....	118
Tabela 7.8: Experimento de otimização 1 – As 5 melhores soluções viáveis .....	119
Tabela 7.9: Experimento de otimização 2 – Variáveis de controle da 1ª etapa.....	121
Tabela 7.10: Experimento de otimização 2 – Variáveis de controle da 2ª etapa.....	122
Tabela 7.11: Experimento de otimização 2 – Variáveis de controle da 3ª etapa.....	123
Tabela B.1: Fretes de transferência para os terminais de distribuição.....	138
Tabela B.2: Fretes de distribuição para o mercado.....	139
Tabela B.3: Cálculo dos estoques para as refinarias 1 e 2 .....	140
Tabela B.4: Cálculo dos estoques da distribuidora .....	141
Tabela B.5: Cálculo dos investimentos em tancagem.....	141
Tabela B.6: Cálculo dos novos investimentos em bicos de carregamento .....	141
Tabela C.1: EVA detalhado - Cenário sem o componente 2 - 4000 m <sup>3</sup> /mês.....	142
Tabela C.2: Níveis de serviço - Cenário sem o componente 2 - 4000 m <sup>3</sup> /mês .....	142
Tabela C.3: Custos Logísticos - Cenário sem o componente 2 - 4000 m <sup>3</sup> /mês .....	144
Tabela C.4: EVA detalhado - Cenário sem a refinaria 2 (a) - 4000 m <sup>3</sup> /mês .....	145
Tabela C.5: Níveis de serviço - Cenário sem a refinaria 2 (a) - 4000 m <sup>3</sup> /mês.....	145
Tabela C.6: Custos Logísticos - Cenário sem a refinaria 2 (a) - 4000 m <sup>3</sup> /mês.....	147
Tabela C.7: EVA detalhado - Cenário sem a refinaria 2 (b) - 4000 m <sup>3</sup> /mês .....	148
Tabela C.8: Níveis de serviço - Cenário sem a refinaria 2 (b) - 4000 m <sup>3</sup> /mês.....	148
Tabela C.9: Custos Logísticos - Cenário sem a refinaria 2 (b) - 4000 m <sup>3</sup> /mês.....	150
Tabela C.10: EVA detalhado - Cenário Ampliação Total - 4000 m <sup>3</sup> /mês .....	151
Tabela C.11: Níveis de serviço - Cenário Ampliação Total - 4000 m <sup>3</sup> /mês .....	151
Tabela C.12: Custos Logísticos - Cenário Ampliação Total - 4000 m <sup>3</sup> /mês .....	153

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização do problema

A integração da cadeia de suprimento é buscada cada vez mais por diversas indústrias. E a indústria do petróleo não é diferente. O objetivo desta busca, na maioria das vezes, é procurar tornar mais eficientes os processos que compõem a cadeia de suprimento, com redução de custos e melhora da eficiência econômica.

O combustível especial de que trata o presente trabalho é um produto de grande valor estratégico para a empresa que o produz, não só pelo seu alto valor agregado mas, sobretudo, pela imagem que ele transmite ao cliente por se tratar de um produto diferenciado, de alta tecnologia e qualidade. Por esse motivo, é fundamental que se possa entender, analisar e controlar a sua cadeia de suprimento, a fim de garantir que o produto chegue nas condições adequadas ao cliente. E com o melhor desempenho econômico possível.

No caso específico deste produto, a análise da cadeia se torna mais fácil uma vez que ele é exclusivo da empresa. A produção e a distribuição para o cliente são realizadas por empresas do mesmo grupo. A proposta do trabalho é aproveitar esta oportunidade para estudar a utilização da simulação computacional estocástica como ferramenta para a análise da cadeia de suprimento e estudos de cenários.

### 1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho de dissertação é desenvolver uma metodologia para análise e apoio à decisão em estudos da cadeia de suprimento do combustível especial. A metodologia é baseada na utilização da simulação computacional estocástica e na definição de um conjunto de indicadores adequados para avaliar o desempenho da cadeia.

O problema consiste em avaliar a capacidade de atendimento, a eficiência logística e a eficiência econômica da cadeia de suprimento. E ainda, realizar estudos

de cenários e de sensibilidade de determinadas variáveis sobre os resultados da cadeia.

Um modelo de simulação é executado e não resolvido; permite análises a todo instante, à medida que novas questões sobre o sistema real vão surgindo. Esta é a principal proposta da metodologia: obter uma visão sistêmica da cadeia e analisar o seu comportamento sob condições específicas.

Mas em alguns estudos de sensibilidade, a quantidade de combinações possíveis de parâmetros do modelo de simulação é tão grande que inviabiliza a análise através da realização sucessiva de experimentos.

Para suportar estes estudos, a metodologia é complementada com a utilização de uma ferramenta integrada ao simulador para “automatizar” a busca pelas melhores soluções. É o que a literatura chama de *simulation optimization* ou, em português, “otimização da simulação”.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

A dissertação está organizada em oito capítulos: este capítulo de introdução e mais sete, que são descritos a seguir.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre avaliação de desempenho logístico e econômico em cadeias de suprimento e sobre simulação computacional.

O capítulo 3 descreve a configuração atual da cadeia de suprimento do combustível especial, os componentes mais críticos e os principais processos envolvidos.

O capítulo 4 desenvolve as etapas que compõem o processo de modelagem da cadeia e a construção dos modelos de simulação. O capítulo 5 define os indicadores de desempenho escolhidos para a avaliação da cadeia. E o capítulo 6 aborda os conceitos por trás da “otimização da simulação” e explica o funcionamento da ferramenta utilizada.

A aplicação da metodologia desenvolvida acontece no capítulo 7, onde os experimentos realizados são descritos e analisados.

Finalmente, no capítulo 8 são apresentadas as conclusões sobre este trabalho e algumas sugestões para a continuação dos estudos.

## CAPÍTULO 2

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O objetivo deste capítulo é realizar uma revisão bibliográfica sobre avaliação de desempenho logístico e econômico em cadeias de suprimento, com destaque para a indústria do petróleo. E sobre a simulação computacional.

Primeiro, são apresentadas algumas definições de logística e de cadeia de suprimento encontradas na literatura; em seguida, busca-se conceitos, metodologias e práticas relacionados com avaliação de desempenho logístico; e, por último, faz-se o mesmo para avaliação de desempenho econômico.

Na seção sobre simulação, são apresentados alguns conceitos, métodos e práticas visando o entendimento da simulação computacional e o auxílio no processo de desenvolvimento dos modelos da cadeia de suprimento do combustível.

#### 2.1 Definições de Logística e cadeia de suprimento

##### LOGÍSTICA

Do francês *Logistique*, parte da arte da guerra que trata do Planejamento e da realização de projeto e desenvolvimento, obtenção, armazenamento, transporte, distribuição, reparação, manutenção e evacuação de material (para fins operativos e administrativos); Recrutamento, incorporação, instrução e adestramento, designação, transporte, bem estar, evacuação, hospitalização e desligamento de pessoal; Aquisição ou construção, reparação, manutenção e operação de instalações e acessórios destinados a ajudar o desempenho de qualquer função militar; Contrato ou prestação de serviços.

(FERREIRA, 1986)

O transporte; armazenamento e abastecimento de tropas; organização de qualquer projeto; operação.

(HARPERCOLLINS, 2005)

A logística integra duas ou mais áreas operacionais das organizações. Ela trata do fluxo das informações dos produtos e serviços desde os fornecedores primários até o consumidor final.

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LOGÍSTICA, 2007)

É o processo de planejar, implementar e controlar eficientemente, ao custo correto, o fluxo e armazenagem de matérias-primas e estoque durante a produção de produtos acabados, e as informações relativas a estas atividades, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, visando atender aos requisitos do cliente.

(CENTER FOR WORLD WIDE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT, 2007)

É a parte do processo da cadeia de suprimento que planeja, implementa e controla o eficiente e efetivo fluxo e estocagem de bens, serviços e informações relacionadas, do ponto de origem ao ponto de consumo, visando atender aos requisitos dos consumidores

(CAVANHA FILHO, 2000)

É um verdadeiro paradoxo. É, ao mesmo tempo, uma das atividades econômicas mais antigas e um dos conceitos gerenciais mais modernos. Desde que o homem abandonou a economia extrativista e deu início às atividades produtivas organizacionais surgiram três das mais importantes funções logísticas: estoque, armazenagem e transporte. E dois conjuntos de mudanças fazem a logística um dos conceitos gerenciais mais modernos: uma de ordem econômica e outra tecnológica. A logística deixa de ser vista como uma simples atividade operacional para uma atividade estratégica, fonte potencial de vantagem competitiva.

(FLEURY *et al.*, 2000)

Logística é processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços de informação associados, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor.

(NOVAES, 2001)

Pode-se definir logística como sendo a junção de quatro atividades básicas: as de aquisição, movimentação, armazenagem e entrega de produtos.

(FERRAES NETO e KUEHNE JR, 2002)

É o processo eficiente de planejamento, implementação e controle efetivo do fluxo de custos, do estoque em processo, dos bens acabados e da informação relacionada do ponto de origem ao ponto de consumo, com o propósito de se adequar aos requisitos do consumidor.

(LAMBERT e STOCK, 1992)

É a atividade de obter, produzir e distribuir materiais e produtos a um local específico e em quantidades específicas.

(FIESP, 2006)

### **CADEIA DE SUPRIMENTO**

É uma abordagem sistêmica de razoável complexidade, que implica em alta interação entre os participantes, exigindo a consideração simultânea de diversos trade-offs, indo além das fronteiras organizacionais, considerando tanto o trade-offs internos quanto os inter-organizacionais, relativamente a quem se deve responsabilizar pelos estoques e que estágio do canal as diversas atividades devem ser realizadas.

(FLEURY *et al.*, 2000)

O conceito de Supply Chain, segundo SCM – SUPPLY CHAIN MANAGEMENT (1999), envolve não só os atores internos da corporação mas os fornecedores e clientes, ampliando a cadeia de valor da companhia. Desde que se amplia o escopo do relacionamento logístico para além das fronteiras da companhia, mais recursos e maior sofisticação gerencial são requeridos.

(CAVANHA FILHO, 2000)

Pode ser considerada uma visão expandida, atualizada e, sobretudo, holística da administração tradicional de materiais, abrangendo a gestão de toda a cadeia produtiva de forma estratégica e integrada.

(PARRA e PIRES, 2003)

Uma cadeia de suprimento (supply chain) é um sistema por meio do qual empresas e organizações entregam produtos e serviços a seus consumidores, em uma rede de organizações interligadas.

(POIRIER e REITER, 1997)

componentes de uma cadeia produtiva, que passarão a planejar estrategicamente suas atividades e partilhar informações de modo a desenvolverem as suas atividades logísticas de forma integrada, através e entre suas organizações.

(FERRAES NETO e KUEHNE JR, 2002)

Supply chain ou cadeia de suprimento é o processo de ligação entre organizações envolvidas no processo de produção de um tipo de bem, do processo da compra inicial de materiais até o último consumidor de um produto final; e ainda como as funções da cadeia de valores que são responsáveis por produzir e oferecer serviços aos clientes.

(COX *et al.*, 1995)

É a integração dos processos de negócio, desde o usuário (cliente) final até o fornecedor original, gerando produtos, serviços e informações que agregam valor para o consumidor.

(CENTER FOR WORLD WIDE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT, 2007)

Corresponde a todas as atividades envolvidas na entrega de produto desde a matéria-prima até o consumidor incluindo compras de materiais e partes, fabricação e montagem, armazenagem e rastreamento de estoques, lançamento e administração de ordens, distribuição através de todos os canais, entrega ao consumidor; e o sistema de informação necessário para monitorar todas essas atividades.

(LUMMUS e VOKURKA, 1999)

Trata-se basicamente da integração holística dos processos de negócios (*business process*) por intermédio da cadeia produtiva, com objetivo de atender o consumidor final mais efetivamente, isto é, sendo eficiente e eficaz simultaneamente.

(PIRES *et al.*, 2001)

Coordenação de empresas gerencialmente independentes que buscam maximizar seus lucros individuais.

(ZIMMER, 2002)

O gerenciamento da cadeia de suprimento no Brasil ou gestão da cadeia de fornecimento em Portugal ou ainda a expressão inglesa também muito utilizada no meio, *supply chain management*, ou SCM, é um sistema pelo qual organizações e empresas entregam seus produtos e serviços aos seus consumidores, numa rede de

organizações interligadas; lida com problemas de planejamento e execução envolvidos no gerenciamento de uma cadeia de suprimento.

(POIRIER e REITER, 1997)

## **2.2 Avaliação de Desempenho Logístico**

Partindo das definições de logística e de cadeia de suprimento, cabe agora buscar meios para avaliar o desempenho logístico de uma empresa na sua cadeia de suprimento.

Para sintetizar e integrar as definições de logística e cadeia de suprimento, segue um trecho do prefácio do livro de BOWERSOX e CLOSS, 2001:

“A logística empresarial inclui todas as atividades de movimentação de produtos e a transferência de informação de, para e entre participantes de uma cadeia de suprimento. A cadeia de suprimento constitui uma estrutura lógica para que as empresas e seus fornecedores trabalhem em conjunto para levar produtos, serviços e informações, de maneira eficiente, aos consumidores finais.”

Portanto, em suma, avaliar o desempenho logístico de uma empresa em uma determinada cadeia de suprimento consiste em determinar meios para medir a maneira como essa empresa realiza o fluxo de produtos e informações desde os fornecedores primários até o consumidor final. Além disso, a empresa precisa atender aos requisitos do consumidor.

BEVERS, 2002, em seu artigo *The good, bad and ugly of major oil consolidation and the downstream supply chain... 'wet' and paper*, diz que a indústria do petróleo continua vivendo o processo de consolidação e reestruturação das principais empresas de petróleo enquanto aumenta seus ganhos de eficiência em relação às estruturas corporativas, às atividades operacionais e à cadeia de suprimento do upstream/ midstream. O objetivo desejado nesta reestruturação de cima para baixo, segundo o autor, é modernizar e tornar mais eficientes os processos da cadeia de suprimento, com redução de custos e melhora da eficiência econômica. Embora este objetivo seja obtido em algum grau na parte física da cadeia (isto é, dutos, terminais, gerenciamento de estoques, utilização de sistemas) isto se dá apenas na metade superior da cadeia de suprimento, a parte acima do Downstream. Contudo, na parte inferior da cadeia (terminais comerciais, distribuidoras, comerciantes independentes, etc.), que representa a maior parte das transações e da movimentação de produtos,

isto não acontece. As atividades comerciais entre empresas de petróleo e o atacado é apenas a primeira etapa nesta fragmentada cadeia de suprimento do downstream.

Conclui-se, portanto, que, na indústria do petróleo, raramente se tem a cadeia de suprimento totalmente integrada. E é justamente na parte de baixo da cadeia, mais próxima ao consumidor final, onde a integração é mais fraca. As empresas que conseguem melhorar o grau de integração neste nível da cadeia obtém uma considerável vantagem competitiva.

“Como você constrói uma cadeia de suprimento que gerará uma vantagem competitiva? Medir e analisar o desempenho por metas é a chave para se obter sucesso.” (RICHARDSON, 2005)

Em um artigo anterior, RICHARDSON, 2003, diz que, antes de medir ao longo da sua cadeia de suprimento, as empresas precisam construir sistemas para um bom levantamento de dados através de suas funções (departamentos) internas. Elas precisam integrar suas funções internamente e medir o seu desempenho. Feito isso, os participantes da cadeia devem partilhar informações.

A qualidade da informação é fundamental. Um indicador de performance baseado em informações inverídicas, em vez de ajudar, atrapalha.

A literatura sugere que a implementação de programas de gerenciamento da cadeia de suprimento (SCM) conduz a um melhor desempenho da logística, mas pesquisas empíricas relacionando iniciativas de SCM com desempenho logístico são escassas. MOBERG *et al.*, 2004, publicaram uma pesquisa no *International Journal of Logistics Management* que examina empiricamente a relação entre os 7 componentes ou processos do SCM (COOPER *et al.*, 1997) e o desempenho logístico percebido. Os resultados mostraram claramente uma relação positiva entre exigência e desempenho.

Os sete componentes (ou processos) do SCM podem ser observados na Figura 2.1, abaixo. Aos 7 processos de Copper, LAMBERT *et al.*, 1998 acrescenta o processo de Retorno.

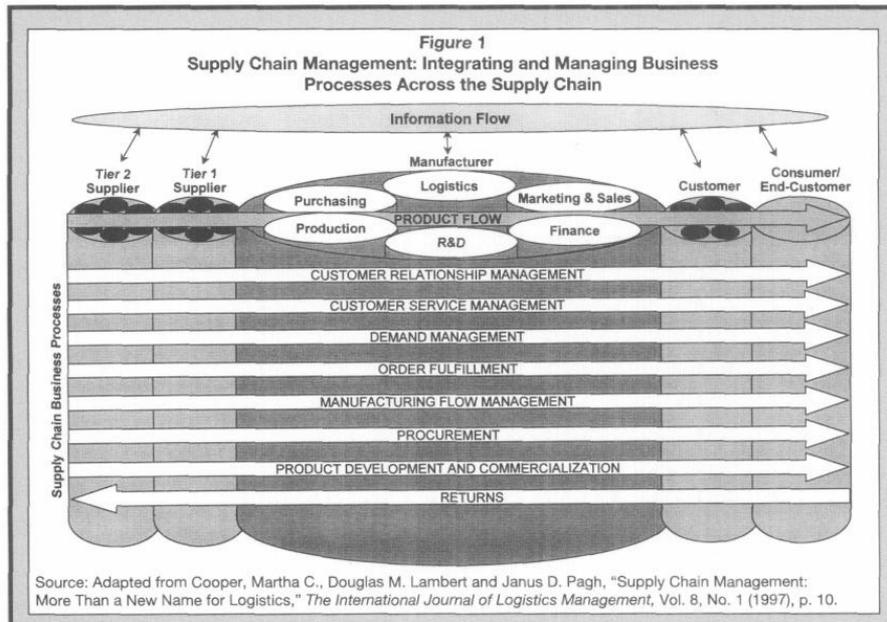


FIGURA 2.1: SCM: INTEGRANDO E GERENCIANDO OS PROCESSOS DE NEGÓCIO ATRAVÉS DA CADEIA DE SUPRIMENTO LAMBERT ET AL., 1998

Mais tarde, LAMBERT, 2004, orientado pelo trabalho realizado pelo *The Global Supply Chain Fórum*, identifica os 8 processos que precisam ser gerenciados e integrados para uma gestão de sucesso da cadeia de suprimento. Vide Figura 2.2. A única diferença é que o processo de *Procurement* é estendido para *Supplier Relationship Management*.

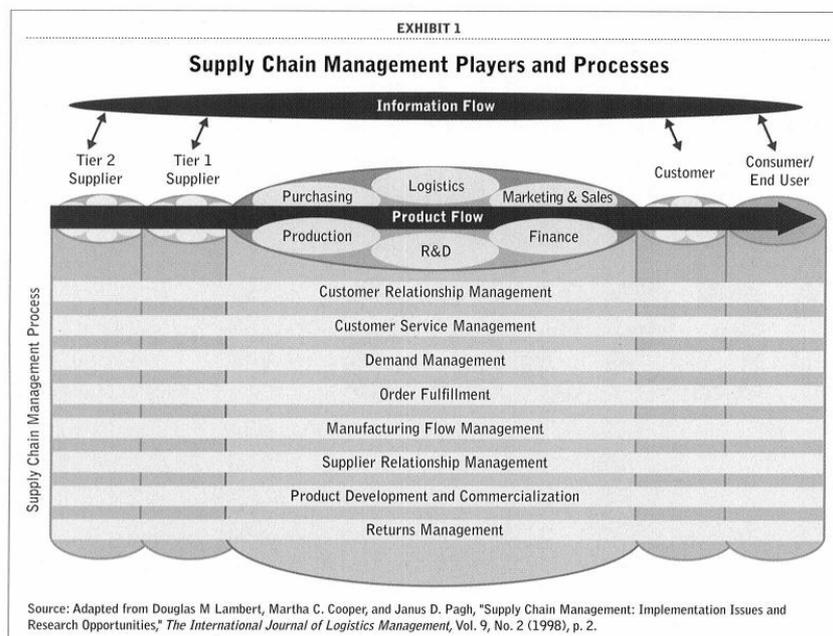


FIGURA 2.2: SCM: INTEGRANDO E GERENCIANDO OS PROCESSOS DE NEGÓCIO ATRAVÉS DA CADEIA DE SUPRIMENTO LAMBERT, 2004

Em seu artigo *Is your supply chain at risk?*, RICHARDSON, 2006, trata do gerenciamento de risco na cadeia de suprimento. Segundo ela, o primeiro passo é

identificar onde a empresa se encontra sob risco. Quanto melhor o processo de previsão da empresa melhores serão as decisões sobre o posicionamento de recursos visando uma redução potencial das suas necessidades de estoque. Um ferramenta que pode auxiliar o processo de previsão é o *data warehousing* que permite que empresas possam transformar dados em informações inteligentes e, a partir daí, rodar cenários do tipo *what-if*. O artigo traz ainda o depoimento de um alto executivo da distribuidora de alimentos CISCO Corp onde sugere que as empresas deveriam ter uma estrutura gerencial para se preparar para – e antever – situações especiais; e ainda, desenvolver um plano de contingência para responder rapidamente e de forma eficaz a eventos não planejados.

KOTZAB *et al.*, 2003, examinam a formulação de estratégias para uma cadeia de suprimento em ambientes complexos. Argumentam que o estado da arte do *e-business* e do SCM, combinados no conceito de e-SCM, bem como o uso de teorias de custo, de rede e de gestão de recursos, todos juntos, podem ser utilizados para formar um modelo de análise de cadeias de suprimento com o propósito de reduzir as incertezas inerentes ao processo de formulação de estratégias para uma cadeia de suprimento. Um “modelo de otimização” estratégica e-SCM (e-SOM) é apresentado no artigo como um meio de atingir esse objetivo.

Segundo ANDEL, 1998, “o desafio para as cadeias de suprimento das indústrias químicas e petroquímicas é planejar de forma eficaz para um horizonte prolongado. Um dos problemas inerentes a estas indústrias são as mudanças que acontecem na interface “under-supply” / “over-supply”. A Eastman Chemical Co. está elaborando um projeto avançado de planejamento e programação e espera reduzir custos em diversas áreas, incluindo níveis de estoque, transporte e seleção de fornecedores de materiais. A empresa pretende competir melhorando a eficiência da sua cadeia de suprimento. Eles acham que podem operar mais facilmente em nível global com a utilização de sua Intranet. Enquanto isso, Mobil Oil tem sofrido com os altos custos de transporte e redução de margens mas encontrou uma solução com a Petrolsoft, fabricante de um conjunto de sistemas de reposicionamento de estoques chamado ‘Supply’. Eles incorporaram o software em um sistema que eles chamam de ‘Mobil Inventory Management System’. O sistema permite que a Mobil realize suas entregas na modalidade de transporte mais econômica e controle melhor as exigências dos serviços demandados. Isso permitiu que reduzissem sua despesa com transporte e estabilizassem a demanda de seus próprios caminhões.”

JONES, 2001 mostra um exemplo de sucesso envolvendo parceria e integração da cadeia na redução de custos operacionais:

“A plataforma offshore da BHP é composta por campos de óleo e gás projetados para produzir 70.000 barris de óleo e 300 milhões de pés cúbicos-padrões de gás por dia. Desde o momento da construção dos ativos em meados de 1995, se estabeleceu uma parceria entre a BHP e a Nalco/Exxon cobrindo especialidades químicas e serviços associados. Reduções nos custos operacionais na cadeia de suprimento foram obtidas desde então. Entretanto, em meados de 1998 reconheceu-se que ganhos adicionais somente seriam possíveis através de uma revisão básica e do redesenho da estrutura da cadeia de suprimento. A BHP, então, propôs a criação de um grupo de projeto para cadeia de suprimento. Este grupo, liderado pela Nalco/Exxon, teve 4 objetivos principais: 1. reduzir 25% dos custos operacionais, 2. reduzir a complexidade da cadeia de suprimento, 3. gerenciamento único (*one-party management*), 4. integração de sistemas. Após o início dos trabalhos em 1999, reduções de custo que excedem 28% têm sido obtidas constantemente, fruto da mudança de um gerenciamento vertical para um gerenciamento horizontal.”

Segundo CHIKAN, 2001, a integração dos processos relacionados à aquisição, transporte, armazenagem e produção de materiais dentro e entre empresas é uma das mais importantes tendências dos dias de hoje. Uma visão integrada desses processos incluem todas as áreas tradicionais da relação fornecedor-comprador e da produção de bens e serviços que, de maneira geral, se resumem às macro-funções de logística e produção. Ele analisa o problema da integração entre produção e logística sob três diferentes – porém conectados – pontos de vistas: primeiro, o conhecimento e as práticas conceituais existentes sobre processos de integração; segundo, o estado atual e o nível de integração praticados pelas empresas; e terceiro, o que está sendo ensinado sobre o assunto nas escolas.

Segundo PERSSON e OLHAGER, 2002, a gestão eficiente das atividades da cadeia de suprimentos oferece ganhos na melhoria da qualidade, na redução de custos e no *lead time*, fatores que devem ser continuamente melhorados no atual mercado global e ambiente competitivo.

GIMENEZ e VENTURA, 2005 examinam as interfaces logística-produção e logística-marketing e como elas se relacionam com a integração externa. Também investigam possíveis impactos dos relacionamentos internos e externos nos desempenhos logísticos das empresas. Os resultados genéricos obtidos no estudo

são: integração interna e externa influenciam-se mutuamente; a integração na interface logística-marketing não leva à redução de custos, lead-time ou stock-outs enquanto a integração conseguida na relação logística-produção melhora estas medidas de desempenho; a colaboração externa entre membros da cadeia de suprimento sempre contribui para melhorar o desempenho logístico das empresas. O estudo apresenta algumas limitações como, por exemplo, o seu escopo limitado, porém ele traz uma contribuição à literatura existente mostrando que o impacto no desempenho da integração interna depende das áreas funcionais que estão sendo integradas e do nível da integração externa.

Empresas que se diferenciaram dos seus concorrentes explorando com sucesso a logística estratégica foi o foco do projeto de pesquisa sobre organização e estratégia logística da Universidade do Estado de Michigan (BOWERSOX e DAUGHERTY, 1992). As análises da pesquisa concluem que as empresas líderes em margem vêm de todas as indústrias e níveis da cadeia de suprimento e compartilham de certos atributos. São sensíveis às necessidades dos clientes e vêem a competência logística como fonte de vantagem competitiva. As principais características dessas empresas são formalização, flexibilidade e medição de desempenho. Formalização envolve o estabelecimento de regras e procedimentos para guiar as operações rotineiras da logística e facilitar a tomada de decisão. Flexibilidade envolve uma estrutura para acomodar situações especiais que oferecem oportunidades únicas de maximizar a satisfação do cliente ou de reduzir substancialmente os custos. Finalmente, sistemas sofisticados de medida são necessários para monitorar e medir o desempenho.

Segundo BEAMON, 1999, o processo de escolha dos indicadores de desempenho mais apropriados para a cadeia de suprimento é difícil devido à complexidade destes sistemas. O artigo apresenta uma visão geral e uma avaliação de indicadores de desempenho utilizados em modelos de cadeia de suprimento e também apresenta uma metodologia para a seleção de indicadores de desempenho. Três tipos de indicadores são identificados como componentes necessários em um sistema de avaliação de desempenho de qualquer cadeia de suprimento.

O uso dos recursos, a saída desejada e a flexibilidade (quão bem o sistema reage a incertezas) são identificados como componentes vitais ao sucesso da cadeia de suprimento. Conseqüentemente, um sistema de medida da cadeia de suprimento deve dar ênfase a três tipos distintos de medidas de desempenho:

- Medidas do recurso (R) – níveis de estoque, requisitos de pessoal, utilização de equipamentos, energia utilizada e custos (custo de produção, custo de distribuição, custo de estoque, custo total na cadeia).
- Medidas da saída (O) – resposta ao cliente (satisfação, identificação e atendimento das necessidades), qualidade do produto, quantidade produzida, lead-time.
- Medidas de flexibilidade (F) – redução do número de pedidos perdidos e de pedidos refeitos, redução da perda de vendas; habilidade para responder e acomodar variações de demanda; habilidade de resposta a períodos de baixo desempenho de produção (quebras de máquinas); habilidade de resposta a baixos desempenhos de fornecedores; habilidade de resposta a novos produtos, novos mercados e novos concorrentes.

LONDE, 2004, afirma que executivos de SCM precisam não apenas de conhecer os seus próprios custos mas também os custos de seus parceiros na cadeia de suprimento. De acordo com o autor, dentro da cadeia, uma métrica básica precisa ser compartilhada entre os parceiros. Se você considera de forma séria a implementação de uma cadeia de suprimento completa e integrada, você precisa medir os resultados – honesta, precisa e consistentemente. Uma boa lista de indicadores de desempenho da cadeia envolve o uso de quatro classes de medidas: medidas de desempenho, medidas de custo, medidas de produtividade e medidas de qualidade. Contudo, é necessário também uma medida que cubra toda a rede – além das 4 medidas de atividade apresentadas. Uma linha de pensamento sugere que o “custo-de-servir” deve ter uma métrica macro apropriada para a cadeia. “Fluxo-de-caixa” é outra métrica macro que tem recebido atenção especial na literatura.

CHAN, 2006, analisa o uso de técnicas para quantificar e analisar melhorias na cadeia de suprimentos:

“Com relação às técnicas existentes para quantificar e analisar as melhorias na cadeia de suprimentos de uma forma ampla, INGALLS, 1998, discute a adequação do uso das técnicas de otimização e de simulação para problemas de *supply chain*. Analisando os vários tipos de problemas existentes, o autor diz que existem três áreas onde a otimização e a simulação competem: programação, planejamento tático e planejamento estratégico. Problemas de programação têm em geral um horizonte de tempo curto, escopo limitado, recursos fixos e conhecidos com demanda considerada constante. Se este problema puder ser modelado com a técnica de otimização, é

certamente a melhor escolha. Técnicas de otimização como programação linear, programação inteira ou programação inteira mista são tradicionalmente utilizadas (LEE *et al.*, 2002). Em um problema de planejamento tático, onde o horizonte de tempo é mais longo podendo chegar a alguns meses e o escopo muitas vezes engloba toda a organização fazendo com que o nível de certeza sobre as variáveis do problema seja muito menor tais como local de produção de determinados produtos, período de compras ou a previsão de demanda, que muitas vezes é apenas uma suposição etc. Quando for desejado ter certeza se a cadeia logística vai atender a demanda sem correr risco de obsolescência dos produtos, a melhor alternativa é a utilização de técnicas de simulação. O terceiro tipo de problema abordado pelo autor é o planejamento estratégico onde o horizonte de tempo pode chegar a alguns anos e engloba em geral toda a corporação. Devido à grande abstração, onde os produtos podem ser divididos em famílias, não há recursos definidos e a previsão de demanda é uma suposição, a utilização da otimização é útil para determinar o melhor arranjo da rede logística, definindo onde abrir novas unidades e onde fechar outras. Com os resultados da otimização, deve-se utilizar também a técnica da simulação da rede projetada para definir a política de estoques a ser adotada com base na variação e no risco da demanda ou para escolha do nível de serviço a ser praticado. Segundo o autor a primeira razão para se utilizar a simulação em vez da otimização é a existência da variância que pode ser da previsão da demanda, da confiabilidade no fornecedor, da qualidade do material, etc.”

### **2.3 Avaliação de Desempenho Econômico**

Para SPEH e NOVACK, 1995, executivos de logística são responsáveis por um volume significativo de recursos dentro de uma organização (geralmente, facilidades e pessoas). Gerenciar estes recursos e se responsabilizar pelo seu desempenho requer uma compreensão completa da análise financeira e de como a empresa enxerga investimentos em ativos. A metodologia introduzida por NOVACK *et al.*, 1992, é estendida examinando os tipos de decisões de investimento feitas por executivos de logística e como medir seus impactos na empresa e na cadeia de suprimento.

O que pode ajudar as empresas a avaliar de forma mais precisa as “verdadeiras” competências e riquezas de seus bem-pagos CEOs? A resposta, segundo o artigo *How EVA exposes non-performers* (ANONYMOUS, 2002), chama-se EVA – valor econômico adicionado – um indicador de performance organizacional e gerencial que muitas empresas de porte ignoram. O último ranking sobre criação de valor apresentado na época da publicação do artigo mostra que empresas que adotam o

EVA como indicador têm crescido mais que seus pares a cada ano, algo em torno de 8 pontos percentuais. O que o EVA faz é fornecer uma melhor medida sobre o desempenho das empresas verificando o quanto seus lucros excedem os seus custos de capital. Baseado em uma análise de um conjunto de 60 empresas de alto desempenho, Stewart Stern diz “ter quebrado o DNA” das verdadeiras empresas criadoras de valor. Os principais problemas que o EVA ajuda a solucionar, segundo o artigo, incluem: 1. investir a longo prazo sem ter que pagar no curto prazo; 2. fazer mais pesquisa e desenvolvimento no curto prazo, mas de forma disciplinada; 3. se envolver em longos processos orçamentários; 4. aumentos progressivos dos custos internos de contratação; 5. prêmio de risco que se paga aos investidores devido à divulgação pobre.

HATCH *et al.*, 2001, explicam o conceito do valor econômico adicionado (EVA) e mostram como EVA pode ser empregado como uma ferramenta para avaliar o desempenho gerencial e para o ajudar na tomada decisões estratégicas.

De acordo com POHLEN e COLEMAN, 2005, as empresa não podem existir no isolamento e devem confiar em uma complexa cadeia de interações com outras empresas. O sucesso depende do quão bem as potencialidades das empresas que compõem a cadeia de suprimento são integradas. Logo, as empresas necessitam desenvolver medidas para identificar as exigências e alinhar o seu comportamento com os objetivos da cadeia. Os autores apresentam uma metodologia para avaliar o desempenho sob uma perspectiva “multi-empresa”. A metodologia emprega uma análise didática do valor econômico adicionado (EVA) e do custeio baseado em atividade (ABC). Cinco etapas são propostas para a implementação da metodologia: 1. Estabeleça objetivos estratégicos para a cadeia de suprimento. 2. Mapeie as empresas que compõem a cadeia de suprimento. 3. Examine decisões operacionais usando a análise de EVA. 4. Traduza os objetivos dos processos de negócio em custos e em medidas de desempenho operacionais usando o custeio ABC. 5. Meça e estenda a análise a outros parceiros de negócio. As empresas que conseguirem primeiro aplicar medidas entre - empresas para alinhar seu desempenho conseguirão uma vantagem sustentável sobre os seus concorrentes que forem incapazes de fazê-lo.

Para STANLEY, 2002, “valor econômico adicionado (EVA) é considerado questionável porque emprega o modelo de precificação de ativos de capital para calcular os custos de diferentes componentes e porque usa o custo médio ponderado de capital como um processo de combinação de médias. Epistemologicamente, EVA é

um processo sem consequência porque é deficiente na construção de hipóteses: a hipótese de mercado eficiente e a hipótese oposta. [Não faz distinção entre as duas hipóteses.] Isto tem um comportamento diferenciado sobre o uso do modelo de precificação para o cálculo do EVA.”

KEYS *et al.*, 2001, em seu artigo *Economic value added: A critical analysis*, discutem o Valor Econômico Adicionado (EVA), uma medida financeira introduzida pela empresa de consultoria Stewart Stern & o Co., que afirma que EVA é o único indicador verdadeiro de desempenho gerencial e de negócio. No artigo, eles questionam esta afirmação, explicam como o EVA é calculado e procuram mostrar que o EVA é idêntico à metodologia do Lucro Residual (*residual income*), que foi abandonada há muitos anos pela maioria das empresas americanas. Eles tentam demonstrar inconsistências em algumas definições de EVA e limitações quanto ao seu uso.

Já para AGGARWAL, 2001, o uso interno do Lucro Econômico (EP), Valor Econômico Adicionado (EVA), e outras medidas relacionadas podem transformar a visão estratégica corporativa em medidas úteis para tomada de decisões operacionais e reduzir custos entre empresas. Melhor que os sistemas de contabilidade tradicionais, eles podem ajudar a alinhar os interesses dos acionistas com os interesses dos empregados, que detêm as principais informações. Entretanto, mesmo com seu potencial para ajudar a elevar o valor do acionista, envolvem geralmente uma mudança significativa na cultura corporativa e grandes desafios quanto a medição e implementação.

Segundo COKINS, 2007, “O sofrimento dos executivos é o principal motivo do interesse na gerência de desempenho – ato de transformar planos em ação. Clientes cada vez mais vêm produtos e serviços como *commodities*, o que aumenta a pressão sobre os preços. Mas uma empresa não pode tornar-se próspera apenas cortando custos. Executivos que necessitam expandir seu foco para incluir a criação de valor econômico perceberão que a gestão de desempenho os torna capazes de formular estratégias bem definidas.”

Para MONCZKA e MORGAN, 2000, enquanto a gerência superior vive e morre por medidas de desempenho como retorno sobre as vendas, retorno sobre os investimentos, desempenho das ações da companhia, o processo de procura-compra-suprimento continua a ser medido com métricas de desempenho de tarefas, que são úteis mas inadequadas para avaliar a sua contribuição estratégica para o sucesso do

negócio. Em suma, o valor econômico adicionado da empresa (EVA) é o seu lucro menos o seu custo de capital. Sob modelos de EVA, as empresas precisam precaver-se para algumas relações específicas relacionadas aos processos de procura-compra-suprimento (por exemplo, a relação redução de preços / redução de custos) e os resultados finais, que mostram a performance da empresa.

MONCZKA e MORGAN, 2000, apresentam em seu artigo a *Figura 2.3: O Modelo EVA* e a *Figura 2.4: Como o EVA impacta a competitividade*, para ilustrar o uso do modelo EVA e o seu impacto na competitividade da empresa, em especial nos processos de procura-compra-suprimento.

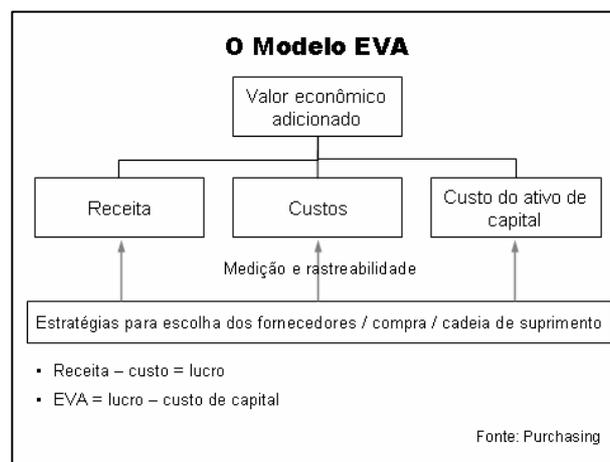


FIGURA 2.3: O MODELO EVA

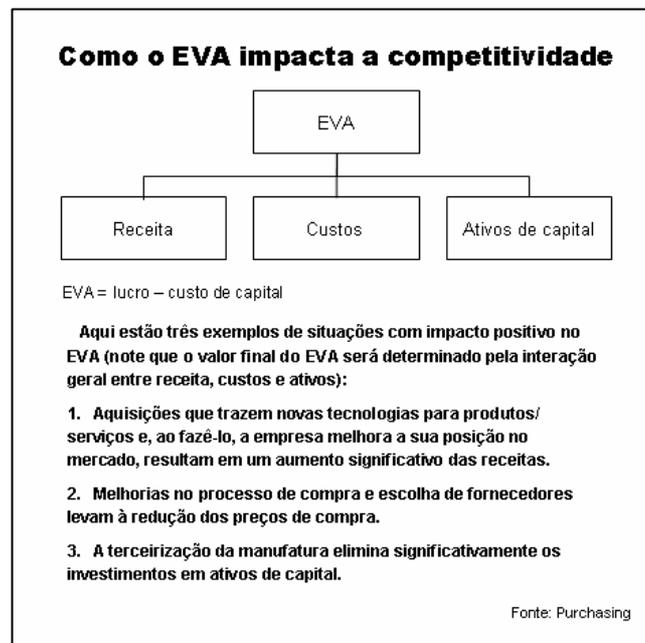


FIGURA 2.4: COMO O EVA IMPACTA A COMPETITIVIDADE

O livro *EVA and Value Based Management: A Practical Guide to Implementation*, de YOUNG e O'BYRNE, 2001, é uma boa referência para quem deseja ir mais a fundo

na metodologia EVA: os principais conceitos relacionados, a discussão sobre o seu uso, casos de sucesso e insucesso, como se calcula, a sua implementação.

## 2.4 Simulação Computacional

CHAN, 2006, apresenta em sua dissertação de mestrado uma cuidadosa revisão bibliográfica sobre a simulação a eventos discretos e o seu uso em estudos relacionados à cadeia de suprimentos e à indústria do petróleo. Seguem algumas citações:

“O termo simulação é bastante conhecido e como metodologia é uma das técnicas mais conhecidas da Pesquisa Operacional (HILLIER e LIEBERMAN, 2001), e talvez a mais utilizada segundo LAW e KELTON, 2000 e PIDD, 1993.

O campo de aplicação da técnica de simulação tem crescido nos últimos anos (RINCON *et al.*, 2005) e, segundo SCHUNK e PLOTT, 2000, o seu uso para avaliação de cadeias de suprimentos não era comum até recentemente. Devido à natureza estocástica, muitos modelos foram desenvolvidos para projetar, avaliar e otimizar as cadeias de suprimentos sendo que a maioria utilizou a simulação a eventos discretos LEE *et al.*, 2002.

Para SALIBY, 1999, ela tem sido utilizada como uma ferramenta de apoio à decisão gerencial, identificando, avaliando e comparando alternativas, destacando a sua crescente importância tendo como principal vantagem a flexibilidade, já que se aplica a problemas variados. PEDGEN, 1991, BANKS *et al.*, 1984, LAW e KELTON, 2000 citam diversos tipos de problemas onde a Simulação tem sido uma ferramenta útil e poderosa. Para NIKOUKARAN *et al.*, 1998 o resultado da popularidade desta metodologia associada a um amplo espectro de aplicações teve como consequência o surgimento de uma grande quantidade de softwares no mercado com diferentes características e propósitos. PEDGEN, 1991 e BANKS *et al.*, 1984 apresentam uma lista com diversas vantagens e desvantagens no uso da Simulação.

CHENG e DURAN, 2004 descrevem uma aplicação de simulação em um problema de transporte e de armazenamento de petróleo ao redor do mundo utilizando o simulador comercial ARENA integrado a um sistema de controle ótimo combinado de inventário e de transporte. O objetivo foi dimensionar a frota de modo a atender a demanda, tendo como resultados de saída o grau de utilização dos navios-tanque (...).

AL-OTAIBI e STEWART, 2004 descrevem um modelo de otimização de um parque de tanques de três refinarias da KNPC (The Kuwait National Petroleum Co.)

integradas entre si através de linhas de transferência para produtos, cargas e correntes de mistura. O objetivo foi avaliar a adequação do parque de tanques existente das refinarias para uma ampliação prevista para o período de 2008/2010 (...).

MEHTA, 2004 discute como a simulação pode ser aplicada para otimizar a configuração da capacidade ótima de armazenamento e transportes de suprimento de óleo e de gás. Discute vários fatores interdependentes que têm impacto na melhoria da cadeia de suprimentos e apresenta um caso de aplicação da simulação a um Programa Anual de Entrega.

CHEN *et al.*, 2002 tratam da aplicação da simulação a eventos discretos na logística de uma planta química. A indústria química tem a particularidade de envolver fluxo contínuo de material, seja líquido, gás ou sólido, sendo desejável a manutenção da operação. O modelo auxiliou na determinação do capital necessário para equipamentos e a avaliação de estratégias de operações logísticas como as de otimização do número e tamanho dos silos. Uma das vantagens da simulação em relação à solução analítica, é que, além de uma solução quantitativa, ela aumenta o grau de entendimento sobre o funcionamento do sistema (...).

LIMOEIRO *et al.*, 2001 desenvolveu modelos protótipos de simulação aplicados a bases de distribuição de derivados para servir como ferramenta na determinação de níveis de estoque de segurança e níveis de serviço.

RODRIGUES e SALIBY, 1998 utilizaram a simulação para dimensionar uma Base de Distribuição de combustíveis no Brasil, ou seja, determinar o número de baias e o mix de bicos de combustíveis para atender a determinada quantidade de caminhões e minimizar o tempo de espera de caminhões a fim de que possam realizar uma maior quantidade de viagens e utilizar de forma mais eficiente os recursos da empresa.”

ZEE e VORST, 2005 afirmam que, devido à flexibilidade de modelagem inerente, a simulação é considerada com frequência como um meio apropriado para dar suporte a tomada de decisão em projetos de cadeia de suprimento. Contudo, o sucesso desses projetos de simulação é determinado por uma combinação de fatores como: as habilidades do analista, o envolvimento dos participantes da cadeia e os recursos da ferramenta de simulação adotada. Esta combinação deve fornecer a base para um modelo realístico de simulação, que precisa ser transparente e completo. A necessidade de transparência é especialmente importante porque envolve participantes (semi)autônomos, cada um com seus próprios objetivos. A confiança

mútua e a eficácia do modelo são extremamente influenciadas pelo grau de concordância entre os critérios adotados pelas partes no que diz respeito às variáveis-chaves do modelo. Idealmente, os modelos visuais e interativos de simulação devem apresentar recursos para que se tenha a visão desejada da realidade.

#### **2.4.1 O processo de simulação**

Simulação é, em geral, entendida como a “imitação” de uma operação ou de um processo do mundo real. A simulação envolve a geração de uma “história artificial” de um sistema para a análise de suas características operacionais.

De acordo com BANKS *et al.*, 2004, a simulação é a imitação da operação de processos reais ou sistemas num dado período de tempo. Essa técnica envolve a geração de uma história artificial de um sistema, e a observação desta para fazer inferências relativas às características de operação do sistema real.

CROOKES, 1982, diz em seu artigo *Simulation in 1981* que entende a Simulação Computacional como uma técnica de obtenção de um programa computacional que toma um conjunto representativo de dados de uma situação do mundo real e manipula esses dados a fim de obter um conjunto similar que represente uma situação futura.

Segundo PEDGEN, 1991, a simulação é o processo de construir um modelo representando um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o objetivo de entender o seu comportamento e/ou avaliar várias estratégias de operação do sistema.

Para CARSON, 2005, “a simulação é arte e ciência”. O analista deve procurar captar os aspectos mais relevantes – a essência – do sistema em estudo, de modo que o modelo seja o mais simples possível.

A simulação de modelos permite ao analista realizar estudos sobre determinados sistemas e responder questões do tipo: “*O que aconteceria se?*”. A simulação computacional permite que tais estudos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, possibilitando o desenvolvimento de projetos eficientes antes de dar início a qualquer mudança física.

As razões mais comuns para experimentar-se com modelos simulados são as seguintes: (a) o sistema real ainda não existe, (b) experimentar com o sistema real é dispendioso, e (c) Experimentar com o sistema real não é apropriado. O esquema da Figura 2.5 mostra possíveis abordagens para o estudo de sistemas reais.

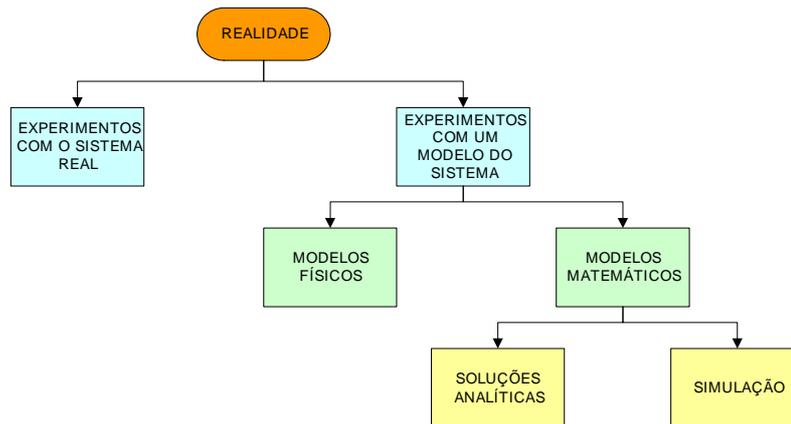


FIGURA 2.5: ABORDAGENS DE ESTUDO DE PROBLEMAS REAIS

FONTE: LAW E KELTON, 2000

Em contraste com os modelos de otimização, um modelo de simulação é executado e não resolvido. As diferenças destas duas abordagens implicam que o modelo simulado permite análises a todo instante, à medida que novas questões sobre o sistema real vão surgindo.

A maioria dos sistemas de simulação é do tipo entrada-saída, ou seja, são modelos interativos onde se fornecem dados de entrada, obtendo-se respostas específicas para estes dados. Não são, por natureza, modelos de otimização. Não oferecem (a menos de um razoável esforço) a possibilidade de busca de uma solução ótima, servindo sobretudo para análises de comportamento sob condições específicas.

Segundo COSTA, 2004:

“Entende-se por processo de simulação o desenvolvimento de um modelo de simulação, a experimentação do mesmo e a implementação dos resultados.

SHANNON, 1975 coloca que o desenvolvimento de um processo de simulação é mais uma extensão das artes do que das ciências. Esta característica talvez explique a dificuldade de se apresentar um mecanismo sistemático para que um usuário interessado possa desenvolver simulações. Apesar das dificuldades, pode-se estabelecer os elementos que participam de um modelo de simulação e alguns passos que, se seguidos, podem ajudar um *modelista*, mesmo novato, a ter um bom desempenho no desenvolvimento de simulações.”

O esquema da Figura 2.6, abaixo, dá uma clara visão do processo de construção de um modelo de simulação computacional.

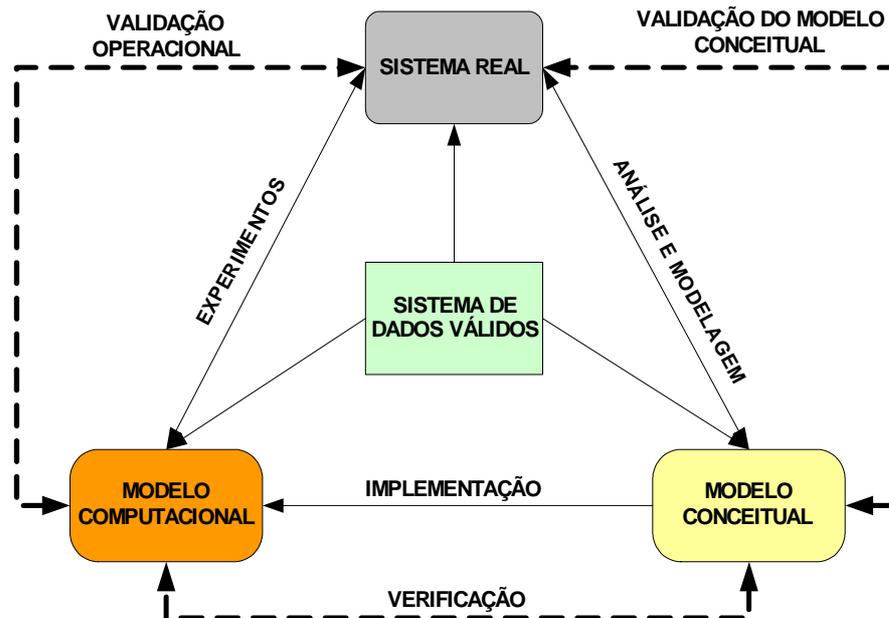


FIGURA 2.6: O PROCESSO DE SIMULAÇÃO

FONTE: SARGENT, 2003

#### 2.4.2 Passos para a construção do modelo

É possível encontrar na literatura diversas abordagens sobre como construir um modelo de simulação. A grande maioria gira em torno do esquema conceitual da Figura 2.6.

A seguir são descritos os passos de BANKS, 1999, para construção de um modelo:

- **Definição do problema:** Definir com precisão e clareza o problema a ser estudado é o passo inicial. Nesta fase se definem as questões que se espera responder.
- **Estabelecimento de objetivos e planejamento do projeto:** Uma vez definido o problema, os objetivos do estudo de simulação fluirão naturalmente. Os objetivos indicam as questões a serem respondidas pela simulação. Nesta fase, são definidos os recursos e é elaborado um cronograma.
- **Desenvolvimento do modelo conceitual:** Nesta etapa será desenvolvida a estrutura conceitual do modelo, incluindo eventos e elementos fundamentais. A utilização de fluxogramas, desenhos e croquis são úteis para refletir o detalhamento do modelo e para a compreensão de fluxos de pessoas e recursos no sistema. A interação com o usuário contribui para aumentar a qualidade do modelo elaborado.

- **Coleta de dados:** A coleta de dados é um processo contínuo. À medida que o estudo avança, os dados vão sendo incorporados ao sistema e em muitos casos é necessária uma nova coleta. Esta fase consome grande parte do tempo de elaboração do modelo.
- **Codificação:** É a fase do desenvolvimento de um programa de computador. Nesta fase o modelista irá utilizar um pacote de simulação ou desenvolver o programa numa linguagem de programação. Esta última alternativa é mais demorada.
- **Verificação do modelo:** A verificação é realizada quando o programa funciona da maneira como o modelista pretendia. Ela pode ser efetuada rodando-se a simulação e monitorando-se sua operação. Se o input de parâmetros e a estrutura lógica do modelo estiverem corretamente representados no código, a verificação é finalizada. Nesta etapa a participação do usuário junto com o modelista agiliza a verificação e aumenta a confiabilidade do modelo.
- **Validação do modelo:** A validação é a confirmação de que o modelo reflete a operação do sistema real em estudo. Esta é a fase de calibragem aonde se compara o comportamento do modelo com o sistema real para corrigir distorções.
- **Experimentação:** Nesta fase as alternativas a serem simuladas devem ser especificadas. O analista deverá considerar a variação dos resultados de saída e determinar para cada simulação o número de replicações necessárias e os tempos de aquecimento e de duração da cada simulação.
- **Execução da simulação, análise de resultados e interpretação:** Nesta etapa efetua-se a simulação e analisam-se os relatórios gerados pelos programas. Com base nos resultados obtidos o modelista verifica a necessidade de executar simulações adicionais ou considerar as inferências do modelo.
- **Documentação e Relatórios de resultados:** Cada relatório do modelo e seus resultados de saída devem ser bem documentados, para facilitar relatos eventuais ou atualizações.
- **Implementação:** A extensão com que os estudos realizados serão colocados em prática depende da efetividade de cada uma das etapas anteriores. A participação do usuário no processo é importante para aumentar a credibilidade e a consistência dos dados.

## CAPÍTULO 3

### 3 A CADEIA DE SUPRIMENTO DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL

Neste capítulo, a cadeia de suprimento do combustível especial é apresentada, procurando-se descrever os principais processos que compõem o sistema de produção, transferência para os terminais e distribuição do produto para o mercado.

A Figura 3.1, abaixo, mostra o fluxo esquemático da cadeia de suprimento, obtido através do levantamento de informações realizado junto às refinarias e à área responsável pela comercialização do produto. Por motivos de confidencialidade e segurança da informação, são omitidos os nomes do produto, dos seus componentes, das refinarias e dos terminais. Os dados também são modificados.

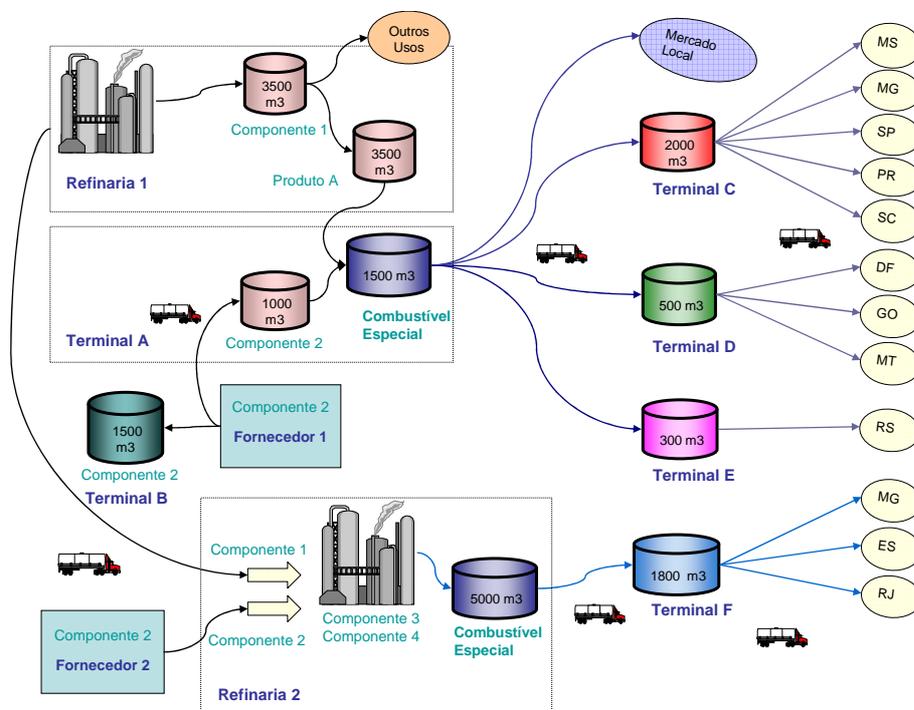


FIGURA 3.1: CADEIA DE SUPRIMENTOS DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL

### **3.1 Aquisição, produção e armazenamento dos componentes**

Os componentes mais críticos do combustível especial são: componente 1 e componente 2 que, como pode ser observado na Figura 3.1, compõem tanto o combustível especial da refinaria 1/terminal A quanto o combustível especial da refinaria 2.

#### **COMPONENTE 1**

O componente 1 é produzido na refinaria 1 em uma unidade de produção com capacidade máxima de 500 m<sup>3</sup>/dia, mas que vem produzindo em média 450 m<sup>3</sup>/dia, quantidade mais que suficiente para atender toda a demanda por este produto até o momento da conclusão do trabalho.

O componente 1 produzido é armazenado em um tanque de 3500 m<sup>3</sup> de capacidade ou, então, enviado para outro tanque de mesma capacidade, onde será produzido o produto A, principal componente do combustível especial do pólo produtivo refinaria 1/terminal A.

#### **COMPONENTE 2**

O componente 2 é comprado no mercado. Há um contrato de fornecimento com o fornecedor 1, que fornece para a refinaria 1, e outro com o fornecedor 2, que fornece para a refinaria 2. Os contratos são flexíveis quanto à quantidade e frequência de compra, mas normalmente acontece o seguinte: para a refinaria 1, compra-se uma quantidade fixa mensal e para a refinaria 2, compra-se conforme a necessidade para a próxima formulação do combustível especial programada.

O componente 2 comprado do fornecedor 1 sai do seu terminal de caminhão e chega ao terminal A, onde é armazenado em um tanque de 1000 m<sup>3</sup> de capacidade. O terminal A é adjacente à refinaria 1.

A empresa possui um tanque com capacidade de 1500 m<sup>3</sup> alugado no terminal B, localizado no litoral, que hoje está sendo utilizado para manter um estoque estratégico do componente. O excedente entre o volume comprado para a refinaria 1 e o espaço disponível no tanque do terminal A normalmente segue para este tanque do terminal B.

O componente 2 comprado do fornecedor 2 segue para o tanque de formulação da refinaria 2 no momento exato de recebê-lo (este processo será detalhado mais à frente). O transporte também é feito por caminhão.

## 3.2 Formulação do combustível especial

O combustível especial, conforme mostrado na Figura 3.1, é produzido em 2 pólos produtores: pólo produtor 1 – refinaria 1 e terminal A, e pólo produtor 2: refinaria 2.

Como pode-se perceber na figura, o combustível especial possui composições diferentes em cada um dos pólos. Porém, atendem às mesmas especificações.

### FORMULAÇÃO NA REFINARIA 1/ TERMINAL A

Na refinaria 1/ terminal A, o combustível especial é composto por:

1. Produto A – que tem como principal componente o componente 1, produzido na própria refinaria 1; e
2. Componente 2 – comprado no mercado e armazenado no próprio terminal A.

A formulação é de responsabilidade da refinaria 1, mas é realizada em um tanque de 1.500 m<sup>3</sup> de capacidade, situado no terminal A. A seqüência das atividades que compõem a formulação é apresentada abaixo:

- Efetua-se primeiro a transferência do componente 2. Isto facilita o processo de homogeneização<sup>1</sup>.

- Após a transferência do componente 2, solicita-se à refinaria que inicie o bombeio do produto A.

- Depois de finalizado o recebimento do produto A, inicia-se a contagem do tempo de homogeneização, que é cerca de 12 horas.

- Então, pode-se proceder à amostragem para teste e certificação no laboratório de qualidade da refinaria. O processo de homogeneização e certificação dura cerca de 4 dias.

- Após a certificação, o produto já pode ser liberado para o mercado.

A programação da produção é realizada no início de cada mês. A área de comercialização da refinaria recebe a previsão de retirada da distribuidora e, de posse do estoque de abertura do tanque de formulação, calcula a necessidade de produção do combustível especial para o mês.

---

<sup>1</sup> Há casos excepcionais – em que não há o componente 2 disponível e o tempo é limitado – onde o processo inicia-se com bombeio do produto A para tanque.

Determina-se, então, a quantidade de bateladas e o tamanho de cada batelada. Normalmente, adota-se a seguinte regra: se a necessidade de combustível especial para o mês for maior ou igual a 2.500 m<sup>3</sup>, realiza-se três bateladas; caso contrário, serão produzidas duas bateladas apenas. O tamanho do lote é função da necessidade calculada para o mês.

## **FORMULAÇÃO NA REFINARIA 2**

Na refinaria 2, o combustível especial é composto pelos seguintes componentes:

1. Componente 1 – produzido na refinaria 1 e enviado por caminhão para a refinaria 2;
2. Componente 2 – comprado no mercado (fornecedor 2);
3. Componente 3 – produzido na própria refinaria 2; e
4. Componente 4 – também produzido na refinaria 2.

A formulação é realizada em um tanque com capacidade de 5.000 m<sup>3</sup>, localizado na própria refinaria 2, e segue a seqüência abaixo:

- As correntes internas (componentes 3 e 4) são enviadas para o tanque por meio de dutos e homogeneizadas;

- Em seguida, essas correntes precisam ser testadas e certificadas antes de se receber as correntes externas (componentes 1 e 2);

- Uma vez certificadas as correntes internas, começa-se o recebimento das correntes externas, que chegam transportadas por caminhões do tipo bi-trem (45 m<sup>3</sup> de capacidade) diretamente para o tanque de formulação. O componente 1 vem da refinaria 1 e o componente 2, do fornecedor 2. Esse processo de recebimento dos produtos no tanque de formulação pode durar dias.

- Terminado o recebimento das correntes externas, inicia-se o processo de homogeneização e certificação, cuja duração é de cerca de 4 dias.

- Após a certificação, o produto já pode ser liberado para o mercado.

Devido à dificuldade no recebimento dos componentes externos, a refinaria optou por fazer uma batelada, a cada 2 ou 3 meses conforme a necessidade. A duração dessa batelada, do início do recebimento das correntes internas até o produto estar pronto para retirada, gira em torno de 25 dias.

### **3.3 Transferência para os terminais de distribuição**

Como pode ser observado na Figura 3.1, uma vez produzido e certificado, o combustível especial da refinaria 1 pode ser retirado por caminhões tanto para transferência para os terminais da distribuidora, que irão fazer a distribuição secundária para os postos (terminal C, terminal D e terminal E), quanto para atender diretamente aos postos do mercado local.

O produto produzido na refinaria 2 é transferido para o terminal F também por caminhões.

A transferência para os terminais de distribuição se inicia com a programação de pedidos realizada pela gerência de programação da distribuidora, que especifica quanto cada terminal necessita de combustível especial, levando-se em conta estoque disponível e demanda atual. Para que não falte produto em nenhum terminal, o volume produzido é distribuído na proporção da demanda de cada terminal.

A execução do processo fica a cargo de uma transportadora contratada. Normalmente, são utilizados caminhões do tipo bi-trem de 45 m<sup>3</sup> de capacidade.

Convém observar que o terminal E recebe combustível especial tipo C, ou seja, já com a adição de álcool etílico, feita no próprio terminal A, enquanto os demais terminais recebem o combustível especial tipo A puro.

### **3.4 Distribuição para os postos de gasolina**

A etapa final da cadeia de suprimento abordada neste trabalho é a distribuição do combustível especial para os postos de gasolina.

Cada terminal de distribuição tem a sua área de cobertura, ou seja, é responsável por atender a um determinado número de postos de determinadas regiões. Neste estudo, os postos são agregados por unidade da federação (UF). Por exemplo, a área de cobertura do terminal D abrange postos do DF, de GO e do MT. Desta forma, como base no histórico de vendas, verifica-se que demandas pelo combustível especial C (já com a adição de álcool) devem ser atendidas em cada estado pelo respectivo terminal de distribuição. O transporte é realizado por caminhões-tanque e o álcool é adicionado no momento em que os caminhões são carregados.

As áreas de cobertura podem ser observadas na Tabela 3.1, abaixo:

TABELA 3.1: ÁREAS DE COBERTURA DOS TERMINAIS DE DISTRIBUIÇÃO

<b>Terminal de Distribuição</b>	<b>Estado</b>
Terminal A	SP
Terminal C	MS
	MG
	PR
	SC
	SP
Terminal D	DF
	GO
	MT
Terminal E	RS
Terminal F	ES
	MG
	RJ

## CAPÍTULO 4

### 4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

*“Transladar conhecimento humano para um modelo de Simulação é uma tentativa fascinante de condensar o mundo num sistema formal”*

KERCKOFFS e VANSTEENKISTE, 1986.

Este capítulo descreve as etapas do desenvolvimento dos modelos de simulação do sistema estudado.

Para atender aos objetivos pretendidos, a metodologia de Banks – apresentada no capítulo 2 – é utilizada como um roteiro para o desenvolvimento da modelagem e dos experimentos.

#### 4.1 Definição do problema

O problema consiste em avaliar a capacidade de atendimento e a eficiência logística e econômica da cadeia de suprimentos do combustível especial. E ainda, ter a possibilidade de realizar estudos de cenários e estudos de sensibilidade de determinadas variáveis sobre os resultados da cadeia.

A ferramenta, ou a metodologia, escolhida para este fim é a simulação computacional estocástica.

Assim, um modelo de simulação é desenvolvido para o cenário base, a configuração atual da cadeia, procurando-se representar os seus principais processos; e a partir deste, variações do modelo para algumas configurações do sistema de produção já planejadas pela empresa.

As configurações do sistema de produção estudadas neste trabalho são as seguintes:

(1) **Configuração atual do sistema de produção:** configuração descrita no Capítulo 3, representada na Figura 3.1;

(2) **Projeto de ampliação do sistema de produção na refinaria 1:** a formulação do pólo produtor 1 passa a ser realizada dentro da própria refinaria 1 em um tanque de 3.000 m<sup>3</sup>. O tanque para armazenar o componente 2 no terminal A é substituído por outro tanque de 2.000 m<sup>3</sup>;

(3) **Projeto de ampliação do sistema de produção na refinaria 2:** o projeto corresponde à colocação na refinaria 2 de mais um tanque de 5.000 m<sup>3</sup> para a formulação e à construção de dois tanques de 2.000 m<sup>3</sup> para armazenar os componentes externos;

(4) **Projeto de ampliação total:** alterações (2) e (3).

Assim, serão realizados experimentos para a avaliação de cenários e estudos de sensibilidade utilizando-se esses 4 modelos ou variações desses.

A avaliação da capacidade de atendimento e do desempenho das configurações estudadas é feita a partir das informações básicas sobre o fluxo de produtos ao longo da cadeia. As informações geradas em cada modelo são exportadas para um arquivo Excel ao final de corrida de simulação, onde, então, são calculados os indicadores de desempenho. A avaliação de desempenho da cadeia é descrita no Capítulo 5.

## 4.2 Modelo conceitual

O modelo conceitual da configuração atual do sistema segue o que foi descrito no Capítulo 3, representado pelo fluxo esquemático da *Figura 3.1: Cadeia de suprimentos do combustível especial*.

Para a segunda configuração, acrescenta-se 1 tanque de 3.000 m<sup>3</sup> à refinaria 1, onde a formulação passa a ser realizada, e substitui-se o tanque de 1.000 m<sup>3</sup> para armazenar o componente 2 no terminal A por outro de 2000 m<sup>3</sup>. O tanque do terminal A, onde era realizada a formulação, passa a ser utilizado apenas para distribuir o produto no mercado. A Figura 4.1 abaixo mostra o fluxo esquemático desta segunda configuração.

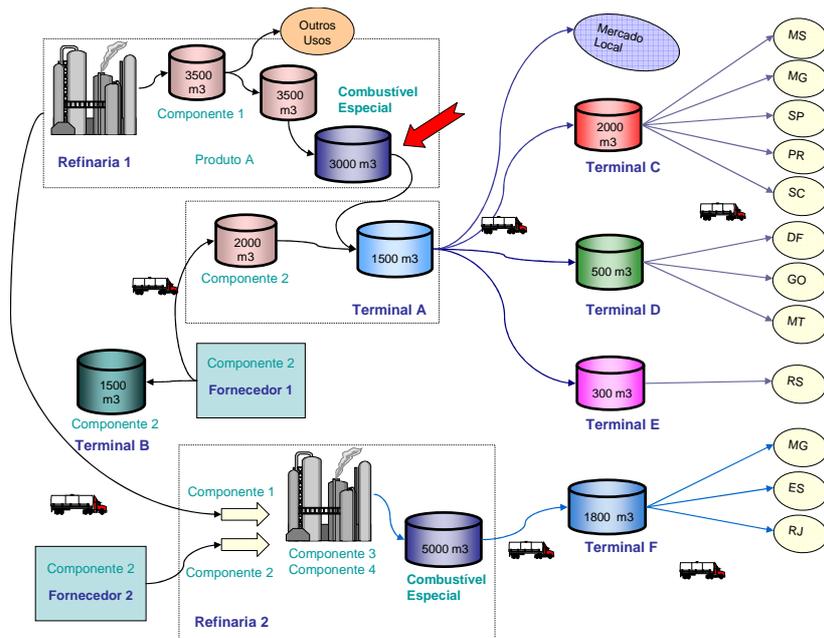


FIGURA 4.1: CADEIA DE SUPRIMENTOS DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL COM 1 TANQUE PARA FORMULAÇÃO NA REFINARIA 1

No estudo do projeto de ampliação do pólo 2, representado na Figura 4.2, acrescenta-se mais um tanque de 5.000 m<sup>3</sup> para a formulação e 2 tanques de 2.000 m<sup>3</sup> para armazenar os componentes externos: um para o componente 1 e outro para o componente 2. Neste estudo, a lógica de produção do pólo 2 é alterada: o sistema de produção passa a ter 2 tanques de 5.000 m<sup>3</sup> para realizar a formulação do combustível especial. Assim, enquanto um está formulando, o outro distribui para o mercado; e vice-versa. A outra mudança é que agora os componentes externos são armazenados em tanques exclusivos para este fim agilizando e aumentando a segurança do processo.

Neste estudo, há uma alteração que impacta de forma especial o rendimento do pólo produtivo: logo que um dos tanques acaba de receber os componentes internos, o outro tanque passa a recebê-los. Como veremos mais adiante nos resultados dos experimentos, isto acaba compensando a baixa vazão do componente 4, diminuindo o *lead time* e, conseqüentemente, aumentando a capacidade máxima de produção.

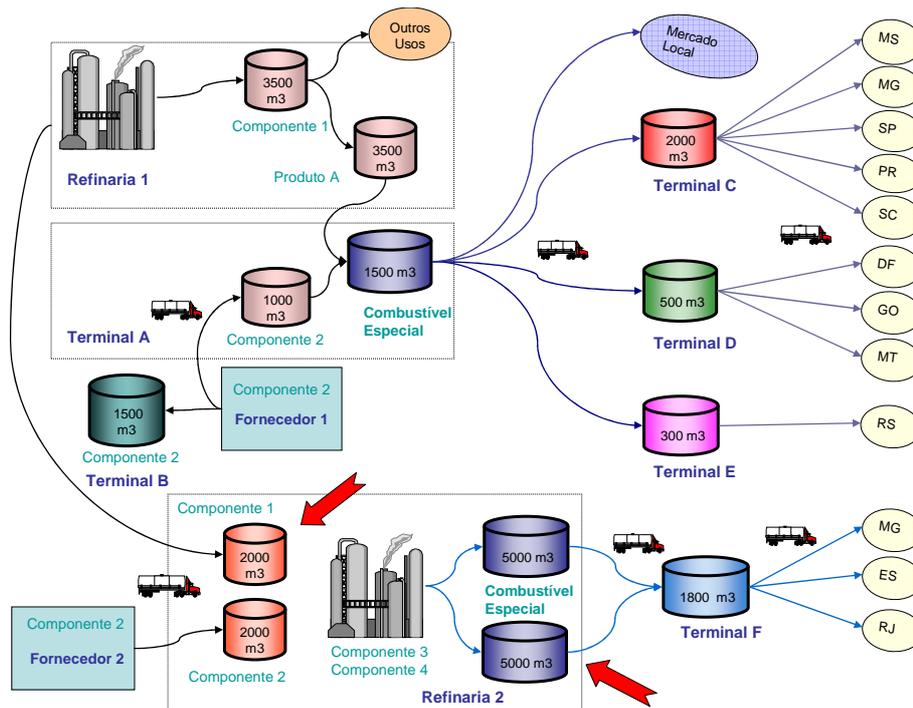


FIGURA 4.2: CADEIA DE SUPRIMENTOS DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL COM A AMPLIAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA REFINARIA 2

A última configuração estudada considera as duas alterações anteriores e está representada na Figura 4.3.

As lógicas de transferência para os terminais de distribuição e de distribuição para o mercado permanecem as mesmas nas 4 configurações.

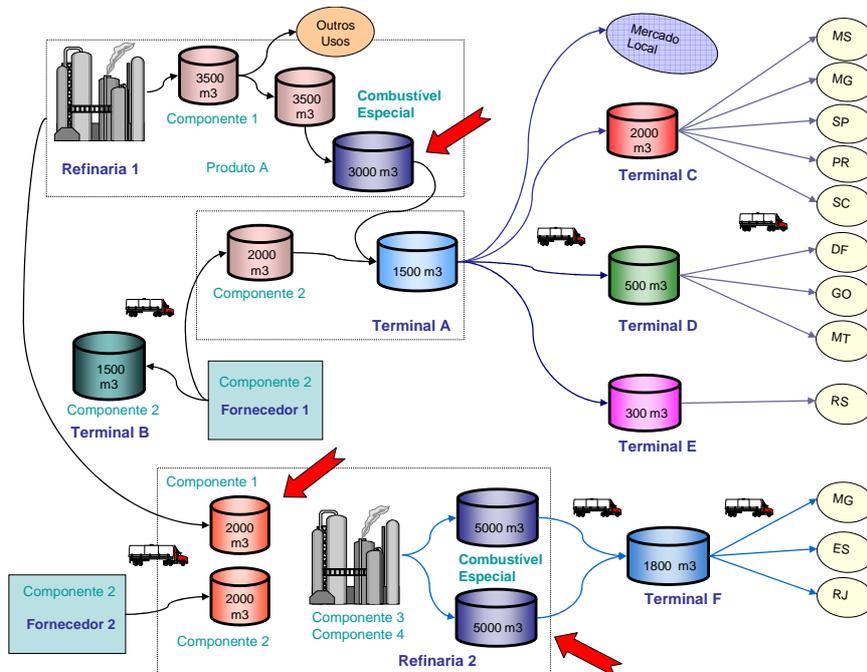


FIGURA 4.3: CADEIA DE SUPRIMENTOS DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL COM AS DUAS ALTERAÇÕES NO SISTEMA DE PRODUÇÃO

### **4.3 Coleta e tratamento dos dados**

Este tópico descreve como foram obtidos e como foram tratados os principais dados e informações utilizados nos modelos de simulação. São apresentadas as informações consideradas mais críticas para o sistema estudado, seja pela importância do componente ao qual a informação se refere, seja pela variabilidade e incerteza da informação.

As informações foram obtidas diretamente nas refinarias e na área responsável pela comercialização do combustível. Vale lembrar mais uma vez que os dados foram alterados por motivos de confidencialidade e segurança de informação.

#### **PRODUÇÃO DO COMPONENTE 1**

Com já foi dito no capítulo 3, o componente 1 é produzido na refinaria 1 em uma unidade de produção com capacidade máxima de 500 m<sup>3</sup>/dia, mas que vem produzindo em média 450 m<sup>3</sup>/dia, quantidade suficiente para atender toda a demanda por este produto no Cenário Base.

Nos modelos desenvolvidos este valor é parametrizado podendo ser alterado conforme o estudo realizado.

#### **COMPRA DO COMPONENTE 2**

A compra deste componente é centralizada na área responsável pela comercialização do combustível especial: há um contrato de fornecimento com o fornecedor 1, que fornece para a refinaria 1, e outro com o fornecedor 2, que fornece para a refinaria 2. A empresa se compromete em comprar uma quantidade fixa mensal com o fornecedor 1, conforme a demanda da refinaria 1. Com o fornecedor 2, ela faz uma previsão de retirada, mas a efetivação da compra e da solicitação de envio do produto acontecem no momento exato de recebê-lo durante a formulação do combustível especial na refinaria 2. Isto acontece por que, no cenário atual, a refinaria não tem tanques disponíveis para armazenar os componentes externos.

Os valores referentes à compra mensal para a refinaria 1 e à previsão mensal para a refinaria 2 também são parametrizados nos modelos, a fim de que se possa alterá-los conforme o estudo.

#### **TEMPO DE HOMOGENEIZAÇÃO / CERTIFICAÇÃO**

Conforme explicado no capítulo 3, após o recebimento de todos os componentes, o produto precisa ser homogeneizado e certificado para então estar

pronto para ser vendido. Na refinaria 2, há ainda um tempo de certificação para as correntes internas (componentes 3 e 4). Ou seja, os componentes externos (componentes 1 e 2) só podem ser recebidos no tanque de formulação depois do recebimento e certificação dos componentes internos.

Foram colocados como parâmetros de entrada dos modelos os tempos médios de homogeneização/certificação do produto final de cada pólo produtivo e das correntes internas da refinaria 2.

Esses tempos foram obtidos nas próprias refinarias.

### **PREVISÃO DE DEMANDA**

A previsão da demanda do combustível especial foi realizada pela área de Marketing e Comercialização da empresa.

Como foi visto no capítulo 3, a distribuição do combustível especial para os postos de gasolina é realizada pela empresa distribuidora e se dá a partir dos terminais de distribuição. Para simplificar o modelo, a área de cobertura de cada terminal é definida agregando-se as vendas por unidade federativa.

Assim, a partir das vendas históricas do período de 2004 a 2006, agregadas daquela forma, chegou-se a um modelo auto-regressivo de previsão de demanda. O modelo foi obtido com o auxílio do software *Forecast Pro Versão 4.3 Edição Estendida*.

A Tabela 4.1 apresenta as vendas mensais de cada terminal para as suas áreas de cobertura<sup>2</sup>; a Tabela 4.2, o desvio padrão, supondo homocedastia (variância constante); e a Tabela 4.3, a sazonalidade por dia da semana. Esses valores serão utilizados nos modelos para a geração da demanda, que será detalhada na seção *4.4.4 Descrição da lógica do modelo*.

---

<sup>2</sup> Vale lembrar que os dados foram alterados por motivo de confidencialidade e segurança da informação.

TABELA 4.1: VENDAS MENSAIS POR TERMINAL E ÁREAS DE COBERTURA

Mês/Ano	Terminal A SP	Terminal C MS	Terminal C MG	Terminal C PR	Terminal C SC	Terminal C SP	Terminal D DF	Terminal D GO	Terminal D MT	Terminal E RS	Terminal F ES	Terminal F RJ	Terminal F MG
jan/07	176,8	19,2	57,8	222,6	365,0	1.263,0	148,1	41,3	49,0	223,2	59,8	829,9	145,7
fev/07	149,6	19,2	49,6	210,1	309,7	1.328,6	146,6	41,2	53,2	154,4	50,2	830,9	134,7
mar/07	189,8	19,2	54,4	258,5	297,9	1.685,4	167,9	39,2	64,0	180,2	57,4	893,5	146,3
abr/07	144,3	19,2	57,8	223,3	296,9	1.609,4	154,0	47,1	70,6	141,0	58,8	906,5	151,9
mai/07	170,5	19,2	57,0	225,8	272,2	1.666,7	162,9	40,9	64,9	144,8	58,6	903,6	150,6
jun/07	157,4	19,2	43,7	235,7	298,6	1.686,1	170,8	42,3	66,8	143,9	69,7	812,2	125,3
jul/07	164,6	19,2	50,3	215,8	264,0	1.597,7	145,3	43,1	70,5	142,6	59,2	803,0	133,4
ago/07	166,8	19,2	54,0	249,2	304,7	1.763,6	163,9	41,3	70,7	145,5	73,8	929,3	148,8
set/07	142,4	19,2	53,5	202,4	264,4	1.663,8	153,6	40,9	77,8	123,2	60,0	884,8	144,4
out/07	172,8	19,2	47,9	222,1	300,6	1.778,2	151,0	44,5	73,0	172,7	69,7	875,9	136,1
nov/07	160,1	19,2	68,5	269,1	393,5	1.854,1	161,9	43,1	75,8	156,1	68,0	929,0	168,2
dez/07	207,3	19,2	54,9	252,5	446,2	2.303,0	176,0	45,3	79,0	186,4	90,1	1.074,7	161,9
<b>Total geral</b>	<b>2.002,2</b>	<b>231,0</b>	<b>649,3</b>	<b>2.787,1</b>	<b>3.813,8</b>	<b>20.179,7</b>	<b>1.902,0</b>	<b>509,9</b>	<b>815,3</b>	<b>1.913,9</b>	<b>775,4</b>	<b>10.673,2</b>	<b>1.747,2</b>

TABELA 4.2: DESVIO-PADRÃO DAS VENDAS MENSAIS

	Terminal A SP	Terminal C MS	Terminal C MG	Terminal C PR	Terminal C SC	Terminal C SP	Terminal D DF	Terminal D GO	Terminal D MT	Terminal E RS	Terminal F ES	Terminal F RJ	Terminal F MG
Desvio-padrão	31,22	13,39	13,82	63,32	45,75	210,60	33,96	11,54	17,04	43,47	21,79	157,20	28,59

TABELA 4.3: SAZONALIDADE POR DIA DA SEMANA

Dia/semana	Terminal A SP	Terminal C MS	Terminal C MG	Terminal C PR	Terminal C SC	Terminal C SP	Terminal D DF	Terminal D GO	Terminal D MT	Terminal E RS	Terminal F ES	Terminal F RJ	Terminal F MG
Domingo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Segunda-Feira	1,29	1,73	1,42	1,30	1,50	1,25	1,19	1,56	1,23	1,14	1,04	1,32	0,29
Terça-Feira	1,25	0,83	1,57	1,12	1,10	1,23	1,42	1,31	1,06	1,21	1,23	1,06	1,62
Quarta-Feira	1,24	1,18	1,60	1,30	1,17	1,21	1,29	1,06	1,21	1,18	1,06	1,02	1,71
Quinta-Feira	1,27	1,04	1,24	1,35	1,20	1,51	1,45	1,27	1,02	1,24	1,18	1,38	1,60
Sexta-Feira	1,82	1,39	0,96	1,33	1,57	1,46	1,64	1,68	2,36	1,63	2,50	2,03	1,39
Sábado	0,13	0,83	0,21	0,60	0,46	0,34	0,01	0,12	0,11	0,59	0,00	0,18	0,39
	<b>7,00</b>												

#### TEMPO DE VIAGEM DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO

O transporte rodoviário de produtos ao longo da cadeia é feito por caminhões. Nos modelos desenvolvidos, os tempos de viagem são tratados como variáveis estocásticas e a escolha pela curva de distribuição foi baseada em conversas com alguns especialistas da empresa e do meio acadêmico. Como não foi possível a obtenção de dados para se chegar a uma curva específica, ficou decidido utilizar uma curva de distribuição Triangular.

De acordo com FREITAS FILHO, 2001, a distribuição Triangular é empregada quando se desconhece a curva associada a uma variável aleatória, mas tem-se boas estimativas dos seus limites inferior e superior bem como, de seu valor mais provável. LIMOEIRO *et al.*, 2001, nos estudos apresentados, justificam o uso de uma distribuição Triangular para o tempo de viagem em transportes rodoviários da mesma forma.

Os tempos de viagem para o transporte do componente 2 entre os pólos produtores e os seus respectivos fornecedores foram obtidos com a área responsável pela compra deste componente na empresa. A Tabela 4.4 apresenta os limites inferior e superior e a moda<sup>3</sup> dos tempos de transporte do componente 2.

<sup>3</sup> Em probabilidade, Moda é o valor que ocorre com maior frequência em um conjunto de dados ou em uma distribuição de probabilidade.

TABELA 4.4: TEMPO DE VIAGEM ENTRE OS FORNECEDORES DO COMPONENTE 2 E OS PÓLOS PRODUTORES DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL

Tempo de viagem (em minutos)				
Origem/Destino	Curva de ajuste	Lim. inferior	Moda	Lim. Superior
Fornecedor 1/Terminal A	Triangular	50	60	70
Fornecedor 1/Terminal B	Triangular	100	120	130
Fornecedor 2/Refinaria 2	Triangular	30	45	60

Os tempos de viagem para o transporte dos demais produtos (combustível especial e componentes internos) também seguem uma distribuição Triangular: suas modas são calculadas dividindo-se as distâncias entre a origem e o destino pela velocidade média do caminhão; para os limites inferiores, a velocidade média é aumentada em 40%; e para os limites superiores, a velocidade média é reduzida em 25%. Vide equação (4.1), abaixo:

$$TRIA\left(\frac{Distância}{VelMed * 1.4}, \frac{Distância}{VelMed}, \frac{Distância}{VelMed * 0.75}\right) \quad (4.1)$$

Para a transferência do produto do pólo produtor para os terminais de distribuição, utilizou-se a distância rodoviária entre os dois pontos. Essas distâncias estão na Tabela 4.5.

TABELA 4.5: DISTÂNCIAS ENTRE OS PÓLOS PRODUTOS E OS TERMINAIS DE DISTRIBUIÇÃO

Distância Polo-Terminal Distribuição							
Origem	Terminal B	Terminal B	Terminal A				Refinaria 2
Destino	Refinaria 2	Terminal A	Terminal C	Terminal D	Terminal E	Terminal F	Terminal F
Distância	486 km	12 km	54 km	1.055 km	1.042 km	492 km	1 km

Já para a distribuição do produto para o mercado, calculou-se uma distância média ponderada entre o terminal de distribuição e a sua área de cobertura:

$$Distância\ ponderada = \frac{\sum (Distância_{Terminal-cidade} \times Venda_{Cidade})}{\sum Vendas_{Região}} \quad (4.2)$$

As distâncias encontradas entre os terminais de distribuição e suas respectivas áreas de cobertura são apresentadas na Tabela 4.6.

TABELA 4.6: DISTÂNCIAS ENTRE OS TERMINAIS E SUAS ÁREAS DE COBERTURA

Distância Terminal - Área de cobertura														
Terminal	Terminal A			Terminal C				Terminal D			Terminal E	Terminal F		
Estado	SP	MS	MG	PR	SC	SP	DF	GO	MT	RS	ES	MG	RJ	
Distância	18 km	1.255 km	543 km	464 km	621 km	49 km	10 km	192 km	962 km	107 km	481 km	138 km	35 km	

Normalmente, o transporte dos componentes do combustível especial é feito em caminhões do tipo bi-trem, de 45 m<sup>3</sup> de capacidade; o mesmo acontecendo para a

transferência do combustível especial entre os pólos produtores e os seus respectivos terminais de distribuição. Já a distribuição do combustível para o mercado, acontece em caminhões-tanque com capacidade de 30 m<sup>3</sup>.

As velocidades médias dos caminhões utilizados no transporte dos produtos são parametrizadas, como será visto na seção 4.4.2, no arquivo de entrada dos modelos.

As capacidades dos caminhões e as distâncias percorridas também são parametrizadas no arquivo de entrada dos modelos.

#### **TEMPO PARA O (DES)ACOPLAMENTO DE CAMINHÕES NOS TERMINAIS**

Quando um caminhão chega à refinaria ou ao terminal para carga ou descarga de produtos, ele precisa aguardar até que haja uma baía, ou melhor um “bico”, disponível para que a operação se inicie. Este tempo, chamado de tempo para o acoplamento do caminhão, é significativo e precisa ser considerado nos modelos de simulação.

Logo que haja disponibilidade, o caminhão se dirige para o local para dar início à operação de carga/descarga do produto. O tempo da operação é determinado pela vazão da bomba e pela quantidade de produto a ser carregado/descarregado, e será detalhado mais à frente na descrição da lógica do modelo.

Ao fim da operação, o caminhão é desacoplado e vai embora.

Os tempos de acoplamento e desacoplamento de caminhões são tratados como variáveis estocásticas nos modelos desenvolvidos. A curva de distribuição do tempo de acoplamento foi determinada a partir de dados históricos obtidos para o terminal C. Já o tempo de desacoplamento foi sugerido por pessoas que trabalham nos terminais. Segundo eles, esse tempo gira em torno 10 minutos com pequena variação.

Os dados históricos do tempo de acoplamento no terminal C foram obtidos para um período de 6 meses. A Figura 4.4 apresenta o relatório de saída do *Input Analyzer* com o ajuste dos dados a uma distribuição exponencial e um sumário dos erros quadráticos das nove funções de probabilidade analisadas pelo software.

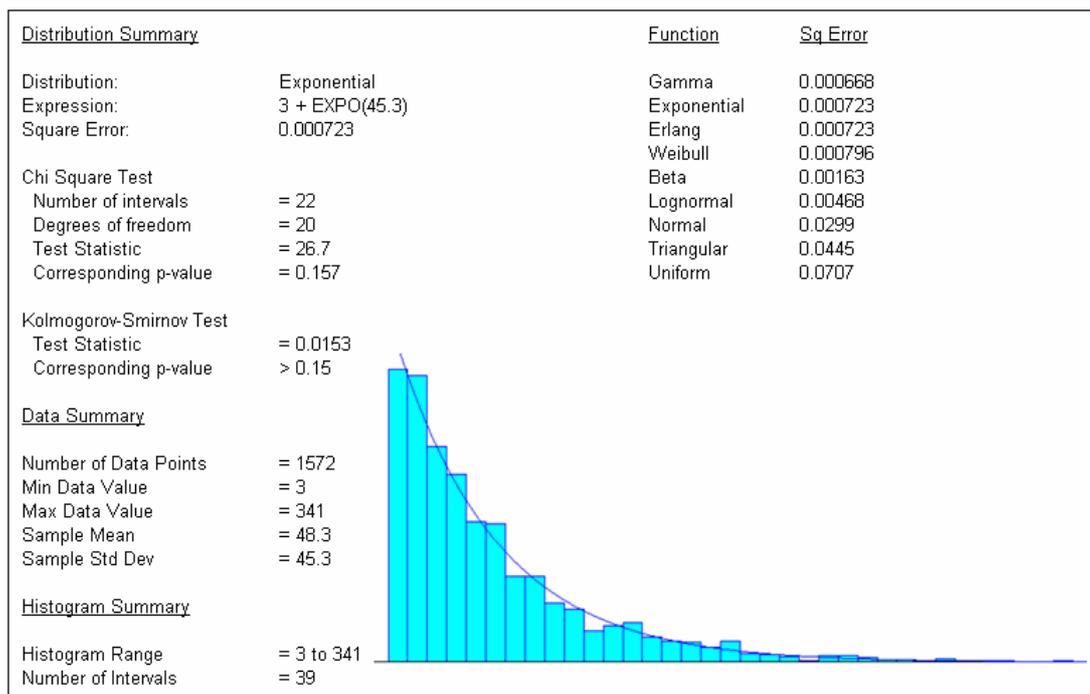


FIGURA 4.4: TEMPOS DE ACOPLAMENTO NO TERMINAL C

Desta forma, em todos os locais do sistema onde são realizadas operações de carga e descarga de caminhões, os tempos de acoplamento serão determinados por uma distribuição exponencial conforme a expressão da Figura 4.4. Porém, os parâmetros da função podem ser modificados conforme o produto e o local; as médias dos tempos de espera dos caminhões são obtidas facilmente nos sistemas de informação dos terminais.

Os tempos de desacoplamento seguirão uma distribuição normal de média 10 minutos e desvio-padrão, 2 minutos.

As demais informações utilizadas como parâmetros do modelo não exigiram nenhum tratamento especial e serão apresentadas na seção 4.4.2 *Parâmetros de entrada do modelo*.

#### 4.4 Modelo computacional

O modelo de simulação computacional é construído a partir do modelo conceitual.

Conforme apresentado em 4.1 *Definição do problema*, um modelo básico da configuração atual do sistema é desenvolvido e, a partir deste, variações para o estudo de outras configurações e cenários.

Um modelo de simulação é por natureza uma simplificação da realidade, portanto parte de algumas premissas e informações para chegar ao modelo pretendido. Desta forma, procurou-se representar nos modelos os processos e informações mais importantes para a obtenção dos objetivos pretendidos.

#### **4.4.1 Escolha do simulador**

O processo de construção de modelos da simulação envolve algum tipo de software. O software pode ser ou uma linguagem de programação de alto nível ou um software orientado a dados, em que o modelo é definido por um conjunto de dados definidos pelo usuário e alguns dados pré-definidos pelo software. Portanto, ou o modelo é o próprio software ou está definido dentro de alguns parâmetros definidos pelo software. Com o desenvolvimento de sistemas de simulação mais amigáveis é o próprio usuário quem constrói o modelo, não necessariamente um perito no assunto.

Para a escolha do software foram considerados os seguintes critérios: adequação ao sistema modelado, facilidade de uso e acesso à versão completa do software. O software que melhor atendeu a esses critérios foi o Arena. Os modelos foram desenvolvidos com o Arena 11 versão completa.

#### **DESCRIÇÃO DO ARENA<sup>4</sup>**

Lançado pela empresa Systems Modeling em 1993, Arena é o sucessor do SIMAN, desenvolvido em 1982. Na verdade a linguagem SIMAN permanece no Arena, que também apresenta uma interface gráfica GUI que permite a modelagem do sistema em análise através de módulos. Ou seja, é um sistema híbrido orientado a objeto. Em 2000, a Systems Modeling foi comprada pela Rockwell.

O Arena é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados.

#### **CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES DO ARENA**

Através da utilização de *templates*, “cartuchos de customização”, o Arena pode ser transformado facilmente em um simulador específico para produção de petróleo, manufatura de produtos discretos, distribuição e transporte, etc. Um *template* é uma coleção de objetos/ferramentas de modelagem que permite ao usuário descrever o comportamento do processo em análise, através de respostas a perguntas pré-

---

<sup>4</sup> Texto retirado em sua maior parte do *site* da Paragon, fornecedora do Arena no Brasil: [www.paragon.com.br](http://www.paragon.com.br)

elaboradas, sem programação, de maneira visual e interativa. O usuário pode criar seus próprios templates, incorporando ao ambiente o seu próprio know-how.

Abaixo são relacionadas algumas funcionalidades do ARENA que foram utilizadas para o desenvolvimento dos modelos neste trabalho:

- Conexão direta para aplicativos MS Office compatível;
- Inclui VBA (Visual Basic for Applications), permitindo ao usuário desenvolver rotinas em VB, visando automatizar tarefas, inserir multimídia, etc.;
- Input Analyzer, ferramenta auxiliar para tratamento de dados; e
- OptQuest for Arena, ferramenta para estudos paramétricos e otimização dos resultados.

#### **4.4.2 Parâmetros de entrada do modelo**

Os modelos foram estruturados de forma que os principais dados pudessem ser lidos a partir de um arquivo de entrada, uma planilha Excel. Assim, as principais variáveis são definidas nesta planilha, para depois serem lidas e processadas. Isto facilita o estudo de cenários.

Os dados do arquivo de entrada do modelo são os seguintes:

- Compra do componente 2 para refinaria 1: valores de cada mês e a média mensal;
- Compra do componente 2 para refinaria 2: valores de cada mês e a média mensal;
- Produção do componente 1: produção média diária e demanda mensal agregada de outros produtos por esse componente;
- Proporção combustível especial A / Álcool para produção do Combustível Especial C;
- Formulação refinaria 1: tempo médio de homogeneização /certificação do produto, proporção de cada componente, vazão de cada componente (entre tanques ou caminhão-tanque);
- Formulação refinaria 2: tempo médio para certificação das correntes internas, tempo médio de homogeneização / certificação do combustível especial, proporção de cada componente, vazão de cada componente (entre tanques ou caminhão-tanque);

A Tabela 4.7, abaixo, mostra como essas informações referentes ao Cenário Base estão dispostas no arquivo Excel Entrada.xls

TABELA 4.7: DADOS DE ENTRADA – COMPRA DO COMPONENTE 2, PRODUÇÃO DO COMPONENTE 1 E FORMULAÇÃO

Compra de Componente 2 para Refinaria 1				
Mês	Quant. (M3)	Fator mês	Fornecedor	Destino
Média mensal	653		Fornecedor 1	Terminal A

Compra de Componente 2 para Refinaria 2				
Mês	Quant. (M3)	Fator mês	Fornecedor	Destino
Média mensal	41		Fornecedor 2	Refinaria 2

Produção Componente 1		Proporção PE / Álcool	
Produção média	450 m3/dia	P. Especial	75%
Demanda outros	7.000 m3/mês	Álcool	25%

Formulação Refinaria 1					
Componentes	Seqüência	Proporção	Vazão	Lote	Freq
Produto A	1	70%	35 m3/h	Programados	
Componente 2	2	30%	35 m3/h	Tempo homogen./certif.	
		100%		96 h	

Formulação Refinaria 2					
Componentes	Seqüência	Proporção	Vazão	Lote	Freq
Componente 3	1	50%	35,0 m3/h	Programados	
Componente 4	2	20%	10,0 m3/h	Especific. Corr. Internas	
Componente 2	3	5%	60,0 m3/h	72 h	
Componente 1	4	25%	60,0 m3/h	Tempo homogen./certif.	
		100%		96 h	

Demanda	P. Especial (m3)	Componente 1	Componente 2
P. Especial	4.000 m3/mês	1.424 m3/mês	694 m3/mês
Refinaria 1	2.900 m3/mês	1.218 m3/mês	653 m3/mês
Refinaria 2	1.100 m3/mês	206 m3/mês	41 m3/mês
Outros Produtos		7.000 m3/mês	
		8.424 m3/mês	694 m3/mês

- Tancagem e vazão dos componentes: capacidade de cada tanque utilizado para armazenar produto, seja componente da mistura, seja o próprio combustível especial, e as vazões de cada produto (entre tanques ou caminhão-tanque);
- Bicos para carga/descarga de caminhões: quantidade de bicos para carga e descarga dos componentes e do produto especial quando transportados por caminhões;
- Transporte (caminhão): tipo de caminhão, capacidade de armazenagem e velocidade média;
- Distâncias: distância entre a refinaria 1 e a refinaria 2, entre os pólos produtores e os seus respectivos fornecedores do componente 2, entre cada pólo produtor e os seus terminais de distribuição, e entre cada terminal de distribuição e sua área de cobertura. As distâncias, como foi explicado na seção anterior, são utilizadas no modelo para o cálculo do tempo de viagem;

- Vendas Mensais: vendas mensais do combustível especial dos pólos de produção para os terminais de distribuição, e dos terminais de distribuição para as suas respectivas áreas de cobertura;
- Desvios-Padrão: desvios-padrão das vendas mensais dos terminais de distribuição para as suas respectivas áreas de cobertura;
- Sazonalidade por dia da semana: sazonalidade referente às vendas diárias para o mercado.

As informações referentes à tancagem, vazão e quantidade de bicos de enchimento para o cenário base se encontram na Tabela 4.8, e as informações relativas à previsão de vendas mensais, desvio-padrão e sazonalidade por dia da semana, na Tabela 4.9. As duas tabelas são apresentadas a seguir.

TABELA 4.8: DADOS DE ENTRADA – TANCAGEM, VAZÃO, BICOS, TRANSPORTE E DISTÂNCIAS

Tancagem e vazão dos produtos												
Local	Refinaria 1		Terminal B	Refinaria 2			Terminal A		Terminal C	Terminal D	Terminal E	Terminal F
Produto	Produto A	Componente 1	Componente 2	P. Especial	Componente 1	Componente 2	Componente 2	P. Especial				
Capacidade	3.500	3.500	1.500	5.000	-	-	1.000	1.500	2.000	500	300	1.800
Vazão	35 m3/h	35 m3/h	60 m3/h	60 m3/h			60 m3/h	60 m3/h	60 m3/h	60 m3/h	60 m3/h	60 m3/h
Baias (bicos)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Caminhão			
Tipo de caminhão	Capacidade	Tempo	
		(des)carga	Vel. Média
Caminhão-tanque	30	0,67 h	40 km/h
Bi-trem	45	1 h	40 km/h

Distância Polo-Terminal Distribuição							
Origem	Terminal B	Terminal B	Terminal A				Refinaria 2
Destino	Refinaria 2	Terminal A	Terminal C	Terminal D	Terminal E	Terminal F	Terminal F
Distância	486 km	12 km	54 km	1.055 km	1.042 km	492 km	1 km
Tempo	12,15 h	0,30 h	1,35 h	26,38 h	26,05 h	12,30 h	0,03 h

Distância Terminal - Área de cobertura													
Terminal	Terminal A	Terminal C					Terminal E	Terminal D			Terminal F		
Estado	SP	MS	MG	PR	SC	SP	RS	DF	GO	MT	ES	MG	RJ
Distância	18 km	1.255 km	543 km	464 km	621 km	49 km	107 km	10 km	192 km	962 km	481 km	138 km	35 km
Tempo	0,44 h	31,38 h	13,59 h	11,59 h	15,53 h	1,22 h	2,67 h	0,25 h	4,80 h	24,05 h	12,02 h	3,45 h	0,86 h

TABELA 4.9: DADOS DE ENTRADA – VENDAS MENSAIS, DESVIOS-PADRÃO E SAZONALIDADE POR DIA DA SEMANA

Mês/Ano	Terminal A SP	Terminal C MS	Terminal C MG	Terminal C PR	Terminal C SC	Terminal C SP	Terminal D DF	Terminal D GO	Terminal D MT	Terminal E RS	Terminal F ES	Terminal F RJ	Terminal F MG	Total
jan/07	176,80	19,25	57,79	222,56	365,01	1.263,05	148,08	41,27	49,01	223,19	59,81	829,87	145,68	3.601,35
fev/07	149,55	19,25	49,56	210,12	309,69	1.329,63	146,61	41,17	53,22	154,40	50,20	830,93	134,69	3.478,02
mar/07	189,75	19,25	54,36	258,54	297,92	1.685,39	167,89	39,15	63,98	180,17	57,40	893,52	146,27	4.053,59
abr/07	144,28	19,25	57,78	223,34	296,88	1.609,41	153,99	47,10	70,56	140,98	58,80	906,55	151,93	3.880,84
mai/07	170,49	19,25	56,97	225,84	272,22	1.666,71	162,91	40,89	64,93	144,81	58,63	903,57	150,61	3.937,83
jun/07	157,40	19,25	43,70	235,69	298,65	1.666,11	170,80	42,25	66,80	143,87	69,72	812,15	125,27	3.851,66
jul/07	164,58	19,25	50,31	215,76	264,02	1.597,67	145,29	43,06	70,52	142,57	59,24	803,02	133,42	3.708,71
ago/07	166,77	19,25	54,05	249,16	304,71	1.763,62	163,88	41,25	70,74	145,53	73,84	929,26	148,77	4.130,82
set/07	142,37	19,25	53,47	202,41	264,44	1.663,80	153,57	40,93	77,75	123,23	60,01	884,78	144,35	3.830,36
out/07	172,76	19,25	47,89	222,14	300,56	1.778,24	151,04	44,49	73,03	172,69	69,70	875,92	136,13	4.063,84
nov/07	160,09	19,25	68,49	269,06	393,46	1.854,09	161,93	43,07	75,77	156,08	67,98	926,99	168,18	4.366,43
dez/07	207,34	19,25	54,93	252,49	446,21	2.303,01	175,98	45,30	79,00	186,39	90,10	1.074,67	161,87	5.096,54
<b>Total geral</b>	<b>2.002,18</b>	<b>230,96</b>	<b>649,31</b>	<b>2.787,10</b>	<b>3.813,76</b>	<b>20.179,73</b>	<b>1.901,98</b>	<b>509,93</b>	<b>815,30</b>	<b>1.913,91</b>	<b>775,44</b>	<b>10.673,23</b>	<b>1.747,19</b>	<b>48.000,00</b>

VENDAS POLO-TERMINAL

Mês/Ano	Refinaria 2	Terminal A	Terminal C	Terminal D	Terminal E	TOTAL
jan/07	1.035,35	176,80	1.927,65	238,35	223,19	2.566,0
fev/07	1.015,83	149,55	1.917,25	241,00	154,40	2.462,2
mar/07	1.097,18	189,75	2.315,46	271,02	180,17	2.956,4
abr/07	1.117,28	144,28	2.206,65	271,65	140,98	2.763,6
mai/07	1.112,01	170,49	2.240,99	260,73	144,01	2.825,0
jun/07	1.007,15	157,40	2.263,40	279,85	143,87	2.844,5
jul/07	995,68	164,58	2.147,01	258,87	142,57	2.713,0
ago/07	1.151,88	166,77	2.390,78	275,87	145,53	2.978,9
set/07	1.089,15	142,37	2.203,36	272,26	123,23	2.741,2
out/07	1.081,75	172,76	2.368,08	268,55	172,69	2.982,1
nov/07	1.165,16	160,09	2.604,33	280,77	156,08	3.201,3
dez/07	1.326,64	207,34	3.075,89	300,28	186,39	3.769,9
<b>Total</b>	<b>13.195,86</b>	<b>2.002,18</b>	<b>27.660,86</b>	<b>3.227,20</b>	<b>1.913,91</b>	<b>34.804,14</b>
<b>Total</b>	<b>1.099,65</b>					<b>2.900,35</b>

PROPORÇÃO DAS VENDAS POR TERMINAL

Mês/Ano	Terminal A	Terminal C	Terminal D	Terminal E	TOTAL
jan/07	6,9%	75,1%	9,3%	8,7%	100,0%
fev/07	6,1%	77,9%	9,8%	6,3%	100,0%
mar/07	6,4%	78,3%	9,2%	6,1%	100,0%
abr/07	5,2%	79,8%	9,8%	5,1%	100,0%
mai/07	6,0%	79,3%	9,5%	5,1%	100,0%
jun/07	5,5%	79,6%	9,8%	5,1%	100,0%
jul/07	6,1%	79,1%	9,5%	5,3%	100,0%
ago/07	5,6%	80,3%	9,3%	4,9%	100,0%
set/07	5,2%	80,4%	9,9%	4,5%	100,0%
out/07	5,8%	79,4%	9,0%	5,8%	100,0%
nov/07	5,0%	81,4%	8,8%	4,9%	100,0%
dez/07	5,5%	81,6%	8,0%	4,9%	100,0%
<b>Total</b>	<b>5,8%</b>	<b>79,5%</b>	<b>9,3%</b>	<b>5,5%</b>	<b>100,0%</b>

SAZONALIDADE SEMANAL

Dia/semana	Terminal A SP	Terminal C MS	Terminal C MG	Terminal C PR	Terminal C SC	Terminal C SP	Terminal D DF	Terminal D GO	Terminal D MT	Terminal E RS	Terminal F ES	Terminal F RJ	Terminal F MG
Domingo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Segunda-Feira	1,29	1,73	1,42	1,30	1,50	1,25	1,19	1,56	1,23	1,14	1,04	1,32	0,29
Terça-Feira	1,25	0,83	1,57	1,12	1,10	1,23	1,42	1,31	1,06	1,21	1,23	1,06	1,62
Quarta-Feira	1,24	1,18	1,60	1,30	1,17	1,21	1,29	1,06	1,21	1,18	1,06	1,02	1,71
Quinta-Feira	1,27	1,04	1,24	1,35	1,20	1,51	1,45	1,27	1,02	1,24	1,18	1,38	1,60
Sexta-Feira	1,82	1,39	0,96	1,33	1,57	1,46	1,64	1,68	2,36	1,63	2,50	2,03	1,39
Sábado	0,13	0,83	0,21	0,60	0,46	0,34	0,01	0,12	0,11	0,59	0,00	0,18	0,39
<b>Total</b>	<b>7,00</b>												

DESVIOS-PADRÃO

Desvio-padrão	Terminal A SP	Terminal C MS	Terminal C MG	Terminal C PR	Terminal C SC	Terminal C SP	Terminal D DF	Terminal D GO	Terminal D MT	Terminal E RS	Terminal F ES	Terminal F RJ	Terminal F MG
Desvio-padrão	31,22	13,39	13,82	63,32	45,75	210,60	33,96	11,54	17,04	43,47	21,79	157,20	28,59

#### **4.4.3 Parâmetros de simulação**

São apresentadas aqui as informações relativas à simulação computacional propriamente dita.

Os modelos desenvolvidos, no que diz respeito à ocorrência de eventos e às mudanças nas variáveis de estado do sistema, podem ser classificados como modelos mistos. Ou seja, as variáveis dependentes do tempo podem variar ora de maneira discreta ora de maneira contínua ao longo do tempo. As definições de eventos, variáveis de estado e outros termos relacionados à simulação são apresentados no *Apêndice A - Glossário*.

Entre os processos que apresentam variáveis de mudança discreta pode-se citar:

- a solicitação de retirada dos componentes para a formulação do combustível especial, que acontece sempre que a formulação é iniciada;
- as bateladas de produção do combustível especial, que são determinadas pela demanda mensal prevista para o produto em cada pólo produtor;
- a produção do componente 1 e sua retirada para outros usos, que acontecem diariamente;
- a geração de demanda pelo combustível especial para o mercado, que também é diária; e
- a compra do componente 2 de seus fornecedores, que acontece mensalmente.

Já os processos que apresentam variáveis cuja mudança é contínua no tempo são todos aqueles envolvendo a adição de produto em tanque, a retirada de produto de tanque ou a transferência de produto entre tanques.

A descrição da lógica do funcionamento dos processos no simulador é feita mais à frente, na seção *4.4.4 Descrição da lógica do modelo*.

#### **TRATAMENTO DO FLUXO CONTÍNUO**

O fluxo contínuo de produtos nos modelos desenvolvidos é realizado utilizando-se o *Flow Process Templates*, uma das famílias de *templates* de soluções aplicadas (ASTs) construídas no Arena que foi desenvolvida especificamente para a modelagem de sistemas discreto-contínuos combinados.

O *Flow Process Templates* (FPT) contem um conjunto de objetos ou módulos com os quais são definidos a lógica, as informações, a animação e/ou o conjunto de estatísticas para um determinado elemento do modelo (p. e., tanques, sensores, etc.).

Os módulos do FPT são os seguintes:

- Módulo Tank: define o tanque onde o material é armazenado e os reguladores de vazão associados que controlarão o fluxo para dentro ou para fora do tanque.
- Módulo Flow: é utilizado em conjunto com o Módulo Tank para modelar operações de fluxo contínuo (semi-contínuo), tais como adição, remoção ou transferência de produto entre tanques. Neste módulo são definidos: o tipo de operação (adição, remoção ou transferência); o tanque de origem (se houver); o tanque de destino (se houver); o tipo do regulador de origem e/ou de destino (regulador simples, conjunto de reguladores, atributo, ou expressão); o regulador de origem e/ou destino utilizado(s); as condições de parada do fluxo (quantidade, tempo ou sinal); o nível de prioridade do processo; e o nome do atributo onde a quantidade de produto que sofreu a operação será salva.
- Módulo Sensor: monitora o nível de material em um Módulo Tank. Cada sensor não somente apresenta um estado dinâmico (*Covered, Uncovered, Disabled*) como pode também disparar determinadas ações quando ocorre uma mudança de estado. Uma das ações possíveis é a criação e o disparo uma entidade.
- Módulo Regulate: altera e controla a vazão máxima dos reguladores de tanque definidos no Módulo Tank.
- Módulo Regulator Set: neste módulo é possível agrupar um conjunto de reguladores para serem utilizados em outros módulos do Flow Process. Por exemplo, para carregar um caminhão em um terminal com mais de um bico de enchimento (cada bico associado a um regulador) o Módulo Flow deve buscar um bico disponível no conjunto de bicos associados (agrupados em um Regulator Set) para executar a operação de carga.
- Módulo Seize Regulator: é utilizado para alocar reguladores de tanque em situações em que múltiplas entidades tentam simultaneamente utilizar o mesmo regulador em um módulo Flow.
- Módulo Release Regulator: é utilizado para liberar um regulador que havia sido alocado a uma entidade através do Módulo Seize Regulator.

## HORIZONTE DE TEMPO DA SIMULAÇÃO E TEMPO DE AQUECIMENTO

A representação do tempo real simulado para o funcionamento da cadeia de suprimento é realizada utilizando o próprio relógio de simulação do Arena. Para isso, é preciso definir alguns parâmetros básicos, como o horizonte de tempo ou tamanho da simulação, a data e a hora de início da simulação, o período de aquecimento e o número de replicações.

Quanto ao horizonte de tempo de simulação, os modelos desenvolvidos podem ser classificados como modelos de análise de sistemas terminais, cujo objetivo é compreender o comportamento do sistema ao longo de um período predeterminado e com duração fixa. O horizonte de tempo definido para os modelos é de 365 dias, iniciando em 1º de janeiro de 2007 e terminando em 31 de dezembro de 2007.

O tempo de aquecimento, definido para eliminar o período transiente do sistema, também foi definido em 365 dias para os estudos de eficiência logística e econômica da cadeia (modelos onde toda a cadeia é representada). Já para os estudos de capacidade máxima (modelos em que se representa apenas os pólos produtivos) o período de aquecimento é de 60 dias.

## NÚMERO DE REPLICAÇÕES

O número de replicações é definido em função da variabilidade dos resultados ocasionada pela presença de variáveis aleatórias no modelo.

Os procedimentos de análise do sistema para determinar o número de replicações consistem em realizar um determinado número de replicações, verificar as variâncias das saídas do modelo relacionadas aos indicadores de desempenho e determinar se os intervalos de confiança resultantes encontram-se dentro de limites aceitáveis. Este é um processo iterativo, os procedimentos devem ser repetidos até que os limites desejados para o intervalo de confiança sejam obtidos.

A nova estimativa do número de replicações pode ser obtida aplicando-se a equação (4.3), abaixo:

$$n^* = \left( n \left( \frac{h}{h^*} \right)^2 \right) \tag{4.3}$$

onde:

$n^*$  = nova estimativa para  $n$

$h$  = semi-intervalo de confiança obtido

$h^*$  = semi-intervalo de confiança desejado

Como diz FREITAS FILHO, 2001, buscando um daqueles “números mágicos”, oriundos não da estatística, mas de quem com ela lida no dia a dia, é comum que se busque intervalos de confiança para os quais o valor de  $h$  seja menor ou igual a 10% da média amostral.

A análise do modelo do cenário base para a determinação do número de replicações é apresentada a seguir. Todos os indicadores de desempenho definidos para a análise da cadeia são obtidos a partir do fluxo de produtos ao longo da mesma, o que corresponde à adição, à retirada e ao estoque dos produtos em seus tanques de armazenagem. Como há no modelo um total 10 tanques, seria necessário que o cálculo de  $n^*$  fosse realizado 30 vezes. Em vez disso, decidiu-se rodar o modelo variando o número de replicações e, para cada replicação, verificar se  $h$  (*half width*<sup>5</sup>) é menor ou igual a 10% da média amostral.

O modelo foi rodado com 2, 3, 5, 7 e 8 replicações. Nesta última, todos os valores de  $h$  sobre as respectivas médias amostrais foram inferiores a 10%. Portanto, o número de replicações para a realização dos experimentos de simulação será igual a oito.

A Figura 4.5 apresenta o gráfico da razão entre  $h$  e as médias amostrais contra o número de replicações para três tanques; e a Tabela 4.10 mostra os relatórios de saída do fluxo de produtos nos tanques (estoque médio, quantidade adicionada e quantidade removida) para uma corrida com 8 replicações.

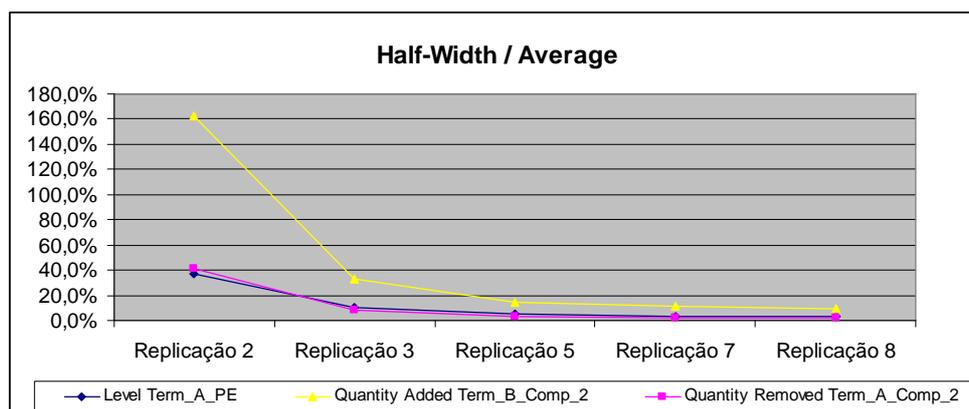


FIGURA 4.5: GRÁFICO DA MÉDIA AMOSTRAL SOBRE O SEMI-INTERVALO DE CONFIANÇA

<sup>5</sup> *Half width* corresponde ao semi-intervalo de confiança de 95% calculado no Arena. Ou seja, em 95% das replicações, a média amostral pode ser encontrada dentro do intervalo *média amostral*  $\pm$  *Half width*. O *Half width* é reduzido aumentando-se o número de replicações.

TABELA 4.10: RELATÓRIO DE SAÍDA DO MODELO COM 8 REPLICAÇÕES PARA TANQUES

### Cadeia de Suprimentos do Combustível Especial

Replications: 8 Time Units: Days

Level	Average (a)	HalfWidth (b)	Minimum Average	Maximum Average	b / a
Ref_2_PE	1066,80	57,57	972,84	1167,84	5,4%
Ref_1_Comp_1	3189,40	1,21	3187,78	3191,48	0,0%
Ref_1_Prod_A	2618,61	9,48	2604,61	2640,42	0,4%
Term_D	110,35	7,19	98,4402	127,32	6,5%
Term_A_Comp_2	736,23	17,23	694,88	755,77	2,3%
Term_A_PE	971,15	30,88	918,77	1014,69	3,2%
Term_F	1235,57	27,00	1192,06	1275,13	2,2%
Term_E	60,5295	5,21	51,5572	67,1375	8,6%
Term_C	956,98	54,82	876,26	1087,81	5,7%
Term_B_Comp_2	540,88	49,18	456,17	624,70	9,1%

### Cadeia de Suprimentos do Combustível Especial

Replications: 8 Time Units: Days

Total Quantity Added	Average (a)	HalfWidth (b)	Minimum Average	Maximum Average	b / a
Ref_2_PE	10721,59	549,69	10040,40	11861,74	5,1%
Ref_1_Comp_1	101088,69	229,52	100734,84	101414,98	0,2%
Ref_1_Prod_A	20138,57	148,08	19857,57	20400,55	0,7%
Term_D	2379,38	42,37	2295,00	2430,00	1,8%
Term_A_Comp_2	8533,13	56,66	8415,00	8595,00	0,7%
Term_A_PE	27875,08	373,52	27306,13	28504,12	1,3%
Term_F	10033,80	239,06	9540,00	10350,00	2,4%
Term_E	1859,36	39,48	1800,00	1959,91	2,1%
Term_C	21447,36	212,11	21039,16	21808,51	1,0%
Term_B_Comp_2	3639,38	349,19	2925,00	4140,00	9,6%

### Cadeia de Suprimentos do Combustível Especial

Replications: 8 Time Units: Days

Total Quantity Removed	Average (a)	HalfWidth (b)	Minimum Average	Maximum Average	b / a
Ref_2_PE	10033,80 ✓	239,06	9540,00	10350,00	2,4%
Ref_1_Comp_1	99860,82 ✓	225,97	99512,51	100192,65	0,2%
Ref_1_Prod_A	19406,25 ✓	225,70	18968,04	19760,88	1,2%
Term_D	2423,54 ✓	14,58	2397,62	2448,22	0,6%
Term_A_Comp_2	8468,82 ✓	181,75	8191,84	8743,24	2,1%
Term_A_PE	27189,87 ✓	279,24	26705,81	27664,12	1,0%
Term_F	9957,05 ✓	72,07	9802,58	10051,06	0,7%
Term_E	1921,06 ✓	20,75	1887,78	1955,63	1,1%
Term_C	20762,04 ✓	72,47	20612,90	20878,34	0,3%
Term_B_Comp_2	4241,25 ✓	371,26	3555,00	4680,00	8,8%

#### 4.4.4 Descrição da lógica do modelo

Todos os estudos de simulação realizados são feitos a partir de variações do modelo base. Portanto, todos os modelos desenvolvidos possuem a mesma lógica de modelagem; nesta seção, são descritos os principais processos, ou rotinas, que os compõem.

O modelo do cenário base, da configuração atual da cadeia de suprimento, procura traduzir o modelo conceitual detalhado no capítulo 3 e representado pela Figura 3.1. O fluxo esquemático deste modelo de simulação é apresentado na Figura 4.7, na próxima página.

Conforme explicado na seção anterior, os modelos são rodados para o período de 1 ano (365 dias) e, ao longo desse período, entidades são disparadas para acionar os módulos que compõem os seus processos. O funcionamento desses processos acontece, portanto, em paralelo.

#### INICIALIZAÇÃO E LEITURA DOS DADOS DE ENTRADA

No início da corrida de simulação – no tempo zero –, uma entidade única é disparada para ativar a leitura dos dados de entrada contidos na planilha Excel (vide item 4.4.2 *Parâmetros de entrada do modelo*), que são armazenados em variáveis para serem processadas durante a simulação. Além disso, algumas variáveis de controle são inicializadas, isto é, têm seus valores iniciais definidos.

#### PRODUÇÃO E RETIRADA DO COMPONENTE 1 E FORMAÇÃO DO PRODUTO A

Neste conjunto de 3 processos, cada um deles dispara uma entidade por dia. O primeiro processo trata da produção diária do componente 1 e da sua transferência para o tanque de armazenamento; o segundo trata da transferência do componente 1, e da adição dos demais componentes para a produção do produto A; e o último trata da retirada do componente 1 para outros fins. A Figura 4.6 mostra a parte da animação do modelo correspondente a esses processos.

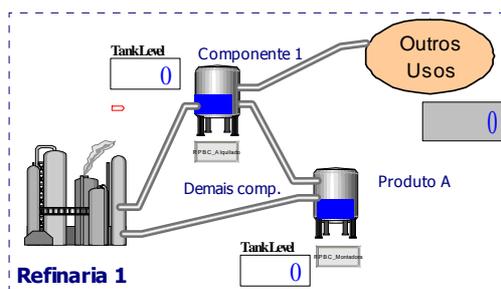


FIGURA 4.6: PROCESSOS DE PRODUÇÃO E RETIRADA DO COMPONENTE 1 E PRODUÇÃO DO PRODUTO A

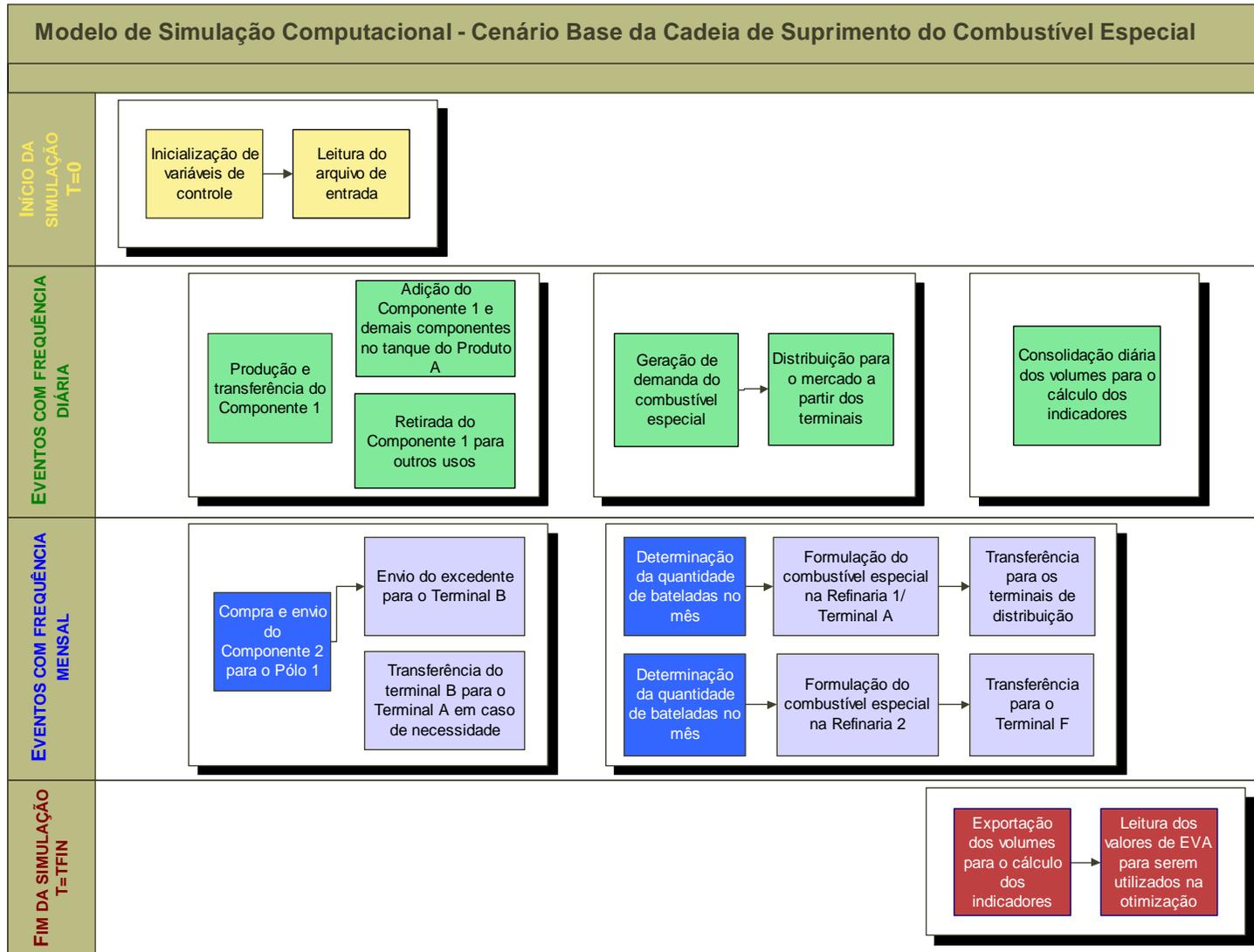


FIGURA 4.7: MACROFLUXOGRAMA DO MODELO DE SIMULAÇÃO

A quantidade máxima de componente 1 produzida diariamente é lida do arquivo de entrada. Esta quantidade não é fixa porque o espaço disponível no tanque de armazenamento pode ser inferior ao valor parametrizado no arquivo. Ou seja, a quantidade produzida será o menor valor entre a produção nominal, parametrizada no arquivo de entrada, e o espaço disponível no tanque <sup>6</sup>. A equação (4.4) abaixo mostra como esta lógica é definida no Arena.

$$Qt\ Pr odComp1 = Mn \left( \begin{array}{l} Pr odMedComp1, \\ TankCapacity(Re f1\_Comp1) - TankLevel(Re f1\_Comp1) \end{array} \right) \quad (4.4)$$

O mesmo acontece nas retiradas do componente 1 para a produção do produto A: o valor máximo é determinado pela demanda diária pelo produto multiplicada pelo percentual do componente 1 na sua composição, mas o valor retirado é limitado pelo espaço disponível no seu tanque de armazenamento.

O processo de produção do produto A é completado pela a adição dos demais componentes. Como esses componentes não são críticos, simplesmente se adiciona no tanque o volume complementar correspondente (diferença entre a demanda pelo produto A e o valor correspondente ao componente 1).

No terceiro processo, procura-se representar a retirada do componente 1 para atender ao volume demandado por outros produtos especiais produzidos na refinaria. Esta demanda também foi prevista pela área de marketing e comercialização da empresa e é parametrizada de forma agregada no arquivo de entrada (vide Tabela 4.7, apresentada na seção anterior).

#### **COMPRA E ENTREGA DO COMPONENTE 2 PARA O PÓLO 1**

Este conjunto de rotinas representa os processos de: compra mensal do componente 2 e sua entrega no pólo 1 (tanque no terminal A); entrega do excedente no terminal B; e a retirada do terminal B para o terminal A, em caso de necessidade. Uma entidade é criada no início de cada mês iniciando os processos.

A Figura 4.8 mostra a animação desses processos.

---

<sup>6</sup> O espaço disponível é obtido pela diferença entre a capacidade do tanque e o seu nível naquele momento. Com a utilização do módulo *Tank* do *Flow Process* do Arena, as capacidades e os níveis dos tanques são obtidos por meio de funções pré-definidas.

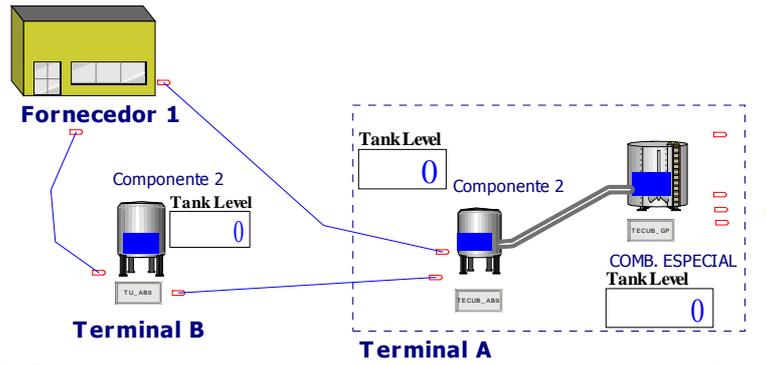


FIGURA 4.8: PROCESSOS DE COMPRA E ENTREGA DO COMPONENTE 2 PARA O PÓLO 1

Como já foi visto, a compra mensal deste componente para o pólo 1 é definida por contrato com o fornecedor 1 e sua quantidade é parametrizada no arquivo de entrada. Do volume comprado, parte é enviada ao terminal A, até o limite do espaço disponível no tanque de armazenagem do produto, vide equação (4.5). A parte excedente, conforme mostra a equação (4.6), segue para o terminal B, onde é armazenado em um tanque alugado para este fim.

$$QtEnvComp2TermA = Mn \left( LtComp2TermA, \left( \begin{array}{l} TankCapacity(TermA\_Comp2) \\ -TankLevel(TermA\_Comp2) \end{array} \right) \right) \quad (4.5)$$

$$QtEnvComp2TermB = LtComp2TermA - QtEnvComp2TermA \quad (4.6)$$

Toda vez que o nível do tanque do terminal A atinge um valor mínimo (30% de sua capacidade), solicita-se a transferência do produto estocado no terminal B. O volume transferido corresponde ao espaço disponível no tanque do terminal A ou, caso não haja esta quantidade, ao volume restante no terminal B. Vide equação (4.7).

$$QtEnvComp2TermA\_2 = Mn \left( \begin{array}{l} TankCapacity(TermA\_Comp2) - TankLevel(TermA\_Comp2) \\ TankLevel(TermB\_Comp2) \end{array} \right) \quad (4.7)$$

Todo o transporte envolvendo a entrega do componente é realizado por caminhões do tipo bi-trem (na animação do modelo, Figura 4.8, as linhas em azul representam os caminhos percorridos pelos caminhões).

#### FORMULAÇÃO DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL NO PÓLO 1

Este processo representa a formulação do combustível especial na refinaria 1/terminal A, considerando o cálculo da produção programada para atender a demanda prevista, a transferência dos componentes (componente 2 e produto A) para

o tanque de formulação e o tempo necessário para homogeneização e certificação do produto. A Figura 4.9 apresenta a animação deste processo no modelo de simulação.

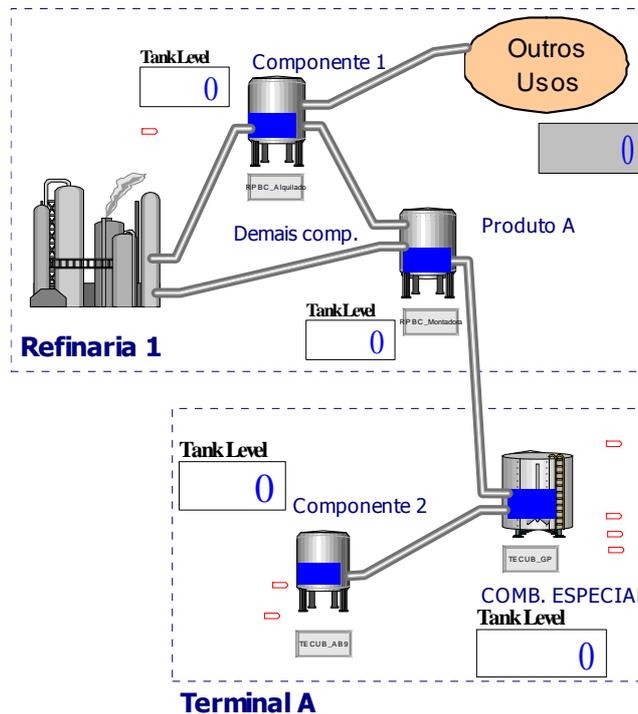


FIGURA 4.9: PROCESSO DE FORMULAÇÃO DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL NO PÓLO 1

No modelo do cenário base, procurou-se representar o processo como descrito na seção *Formulação na refinaria 1/ terminal A* do Capítulo 3 (página 26).

No início do mês corrente, calcula-se a previsão de retirada do produto e verifica-se o estoque de abertura no tanque de formulação. A quantidade de combustível especial a ser produzida no mês é função da diferença entre a retirada prevista e o estoque de abertura, como mostra a equação (4.8), abaixo. Se esta diferença for maior ou igual a 2500 m<sup>3</sup>, realiza-se 3 bateladas no mês; caso seja menor, apenas 2 bateladas.

$$Q_{Pr odMesPol01} = RetiradaPol01 - TankLevel(TermA\_CEsp) \quad (4.8)$$

A retirada prevista para produto, citada acima, é calculada como a diferença entre a demanda agregada da área de cobertura do pólo de produção 1 e os estoques nos terminais de distribuição. A demanda agregada corresponde à previsão de vendas do combustível especial tipo C (já com o álcool adicionado) multiplicado pelo percentual de combustível especial na mistura. Já os estoques nos terminais de distribuição correspondem aos níveis dos respectivos tanques no início de cada mês. Como o terminal E armazena o combustível especial já com o álcool adicionado, o seu

nível também deve ser multiplicado pela proporção do combustível especial na mistura. Vide equações (4.9) e (4.10), abaixo.

$$RetiradaPolol = DemPolol(CalMonth(TNOW)) * Perc\_CEsp - EstTermDist \quad (4.9)$$

$$EstTermDist = \left( \frac{TankLevel(TermC) + TankLevel(TermD) + (TankLevel(TermE) * Perc\_CEsp)}{1} \right) \quad (4.10)$$

Tanto a previsão de vendas (vide última coluna da Tabela 4.11, abaixo) quanto o percentual do combustível especial na mistura <sup>7</sup> são obtidos a partir do arquivo de entrada.

TABELA 4.11: DEMANDA AGREGADA POR PÓLO DE PRODUÇÃO

VENDAS POLO-TERMINAL

Ano		Refinaria 1 / Terminal A					
Mês/Ano	Refinaria 2	Terminal A	Terminal C	Terminal D	Terminal E	TOTAL	
jan/07	1.035	177	1.928	238	223	2.566	
fev/07	1.016	150	1.917	241	154	2.462	
mar/07	1.097	190	2.315	271	180	2.956	
abr/07	1.117	144	2.207	272	141	2.764	
mai/07	1.113	170	2.241	269	145	2.825	
jun/07	1.007	157	2.263	280	144	2.845	
jul/07	996	165	2.147	259	143	2.713	
ago/07	1.152	167	2.391	276	146	2.979	
set/07	1.089	142	2.203	272	123	2.741	
out/07	1.082	173	2.368	269	173	2.982	
nov/07	1.165	160	2.604	281	156	3.201	
dez/07	1.327	207	3.076	300	186	3.770	
	<b>13.196</b>	<b>2.002</b>	<b>27.661</b>	<b>3.227</b>	<b>1.914</b>	<b>34.804</b>	

Uma vez calculado o tamanho do lote a ser produzido, o processo continua com a transferência dos componentes dos seus respectivos tanques para o tanque de formulação: primeiro, o componente 2 e, em seguida, o produto A. A quantidade de cada componente é determinada pela multiplicação do seu percentual de participação na mistura pelo valor do lote produzido.

Ao fim da transferência do último componente, inicia-se a contagem do tempo de homogeneização e certificação.

Os percentuais de participação dos componentes na mistura e o tempo de homogeneização e certificação do combustível especial são parametrizados no arquivo de entrada, vide Tabela 4.7.

<sup>7</sup> Nos cenários estudados, este percentual foi mantido em 75% (vide Tabela 4.7: Dados de Entrada – Compra do componente 2, Produção do componente 1 e Formulação)

## TRANSFERÊNCIA DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL PARA OS TERMINAIS DE DISTRIBUIÇÃO

Após a certificação, o combustível especial produzido no pólo produtor 1 é liberado para retirada, seja para atender o mercado local, seja para a transferência para os terminais de distribuição.

Como a formulação do combustível especial neste pólo é realizada em apenas um tanque, é necessário que o volume produzido ao final de cada batelada seja escoado para os terminais de distribuição para que se possa iniciar um novo ciclo de produção. Por outro lado, a distribuidora deseja manter os estoques nos menores níveis possíveis nos seus terminais <sup>8</sup>.

A animação do processo de transferência para os terminais de distribuição é apresentada na Figura 4.10.

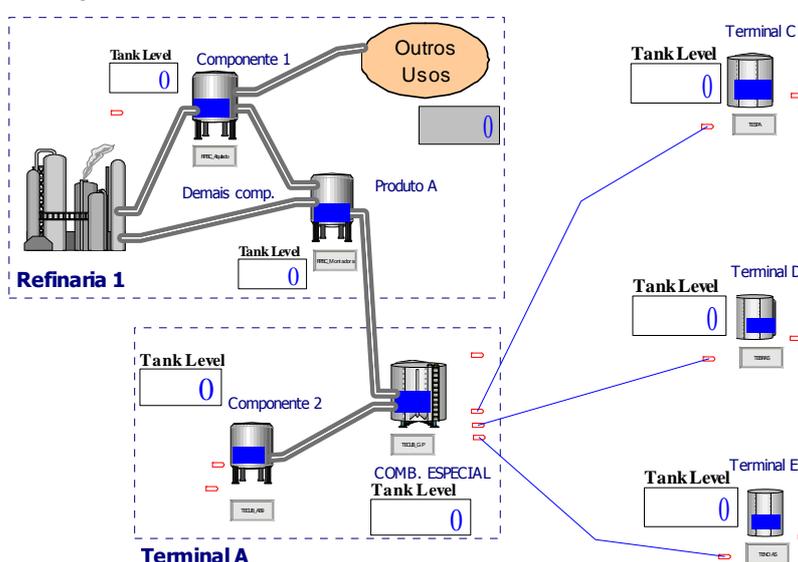


FIGURA 4.10: PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA PARA OS TERMINAIS DE DISTRIBUIÇÃO

A lógica de distribuição do cenário atual é a seguinte: para que não falte produto em nenhum terminal, o volume produzido é transferido na proporção da demanda de cada terminal, até o limite do espaço disponível ou da necessidade do terminal; um pequeno volume, suficiente para atender o mercado local, deve permanecer no tanque de formulação até o momento da próxima batelada; caso o volume produzido (descontado o volume do mercado local) não seja totalmente distribuído, uma nova rodada de transferência será iniciada no momento em que um dos tanques atingir o nível mínimo definido. Este ciclo é repetido até o momento da nova formulação.

<sup>8</sup> O produto é faturado para a Distribuidora no momento em que é retirado do tanque de formulação.

## FORMULAÇÃO DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL NO PÓLO 2

O processo de formulação da combustível especial na refinaria 2 é composto pela programação da produção (volume e frequência), pelo recebimento dos componentes produzidos internamente (componentes 3 e 4), pela especificação desses componentes, pelo recebimento dos componentes externos (componentes 1 e 2), e pelo tempo necessário para homogeneização/certificação do produto final, conforme descrito na seção *Formulação na refinaria 2* do Capítulo 3 (página 27). A animação do processo é apresentada na Figura 4.11.

Conforme explicado no capítulo 3, a empresa optou por realizar no cenário atual uma batelada a cada 2 ou 3 meses, devido ao fato de os componentes externos chegarem de caminhão no momento da formulação, o que dificulta o processo. Isso é possível neste cenário, por que a demanda a ser atendida pela refinaria (vide Tabela 4.11) é pequena quando comparada à capacidade do tanque de formulação ( $5000 \text{ m}^3$ ).

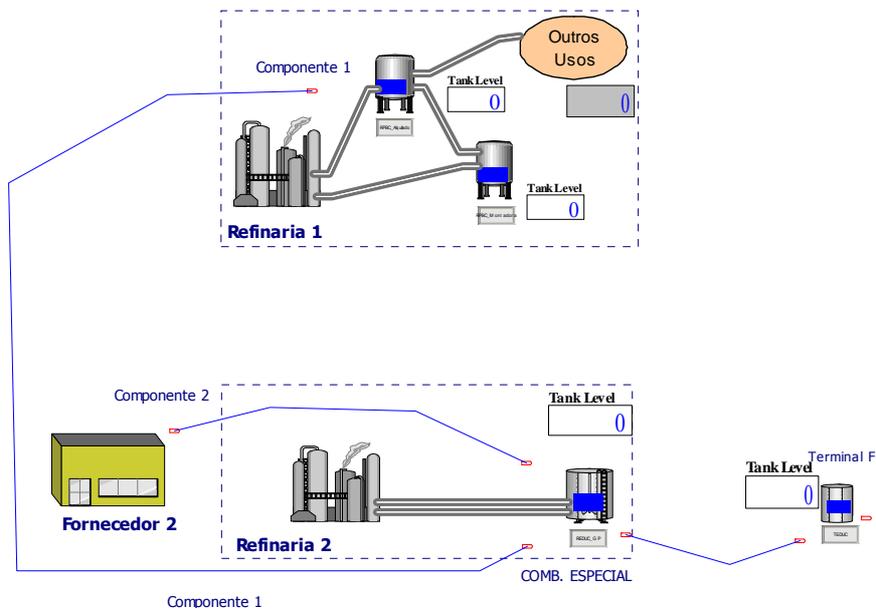


FIGURA 4.11: PROCESSO DE FORMULAÇÃO DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL NO PÓLO 2

O processo funciona da seguinte forma: no início da corrida de simulação, verifica-se a demanda para os próximos 3 meses (arquivo de entrada) e a posição de estoque do terminal F, terminal atendido pela refinaria. A previsão de retirada do produto pela distribuidora será igual a demanda prevista menos o estoque do terminal. E a quantidade produzida será a diferença entre a previsão de retirada do produto e a posição de estoque do tanque de formulação no momento da formulação. Novamente, esta quantidade é limitada pelo espaço disponível no tanque de formulação. Em seguida, determina-se o volume necessário de cada componente que compõe o combustível especial na refinaria 2: percentual do componente na mistura multiplicado pelo volume a ser produzido.

Procede-se, então, o envio dos componentes para o tanque de formulação. Os componentes produzidos dentro da refinaria são enviados primeiro, por meio de dutos. Depois, aguarda-se o tempo necessário para a certificação dessas correntes e, ao término deste tempo, solicita-se o envio dos componentes externos. O transporte é realizado por caminhões, o componente 1 vem da refinaria 1 e o componente 2, do fornecedor 2. Depois de encerrada a adição do último componente no tanque de formulação, procede-se a homogeneização e certificação do produto, cujo tempo também é obtido do arquivo de entrada.

As vazões entre os tanques/caminhões dos componentes e o tanque de formulação; o tempo de homogeneização e certificação das correntes internas; e o tempo de homogeneização e certificação do combustível especial são parametrizados no arquivo de entrada. Vide Tabela 4.7.

#### **COMPRA E ENTREGA DO COMPONENTE 2 PARA O PÓLO 2**

Conforme explicado no processo anterior, a solicitação de compra e envio do componente 2 é feita durante o processo de formulação no momento exato de recebê-lo. Isto acontece por que não há na refinaria 2 um tanque exclusivo para a armazenagem do componente.

#### **GERAÇÃO DA DEMANDA DIÁRIA DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL PARA O MERCADO**

A geração de demanda pelo combustível especial acontece com a criação de uma entidade por dia para cada um dos mercados atendidos pelos terminais de distribuição (vide 3.4 *Distribuição para os postos de gasolina*). Com base na venda mensal projetada para cada região, obtida do arquivo de entrada, calcula-se a respectiva meta de venda diária; e um pedido de venda é, então, enviado para terminal correspondente.

As metas diárias de venda das 13 regiões de demanda agregada são calculadas conforme as equações de (4.11) a (4.14), abaixo. Estas equações definem a meta diária da região de Mato Grosso do Sul (MS) abastecida pelo terminal C.

$$MetaDia\_Term\_C\_MS = \frac{Venda\ do\ mes}{Dias\ do\ mes} \times SazoSemana \quad (4.11)$$

Onde:

$$Venda\ do\ mes = Mx\left( Normal\left( \begin{matrix} VendaMes\_Term\_C\_MS(CalMonth(TNOW)) \\ DP\_Term\_C\_MS \end{matrix} \right), 0 \right) \quad (4.12)$$

$$Dias\ do\ mes = DiasMes(CalMonth(TNOW)) \quad (4.13)$$

$$SazoSemana = SazoSem\_Term\_C\_MS(CalDayOfWeek(TNOW)) \quad (4.14)$$

A meta de venda em um determinado dia de simulação será igual à venda projetada para o mês do qual aquele dia faz parte dividido pela quantidade de dias desse mês. Isso tudo multiplicado pela sazonalidade do dia da semana correspondente. Equação (4.11).

É importante observar que a venda mensal é uma variável estocástica, como mostra a equação (4.12). Uma função pré-definida do Arena gera um número segundo uma distribuição normal, cuja média é a venda projetada para o mês em questão e o desvio-padrão é previamente obtido do arquivo de entrada. Há uma pequena possibilidade de que esta função gere um valor negativo, por isso utilizou-se uma outra função do Arena que retorna o maior entre dois valores; no caso, esses valores são: o resultado da função normal e zero.

As vendas mensais projetadas, os desvios-padrão e a sazonalidade dia da semana foram apresentados anteriormente nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3.

As vendas mensais projetadas para cada região, depois de lidas, são guardadas em vetores de 12 posições, uma posição para cada mês do ano. Na equação (4.12), nota-se que o vetor de vendas do terminal C para MS tem como argumento uma função pré-definida do Arena,  $CalMonth(TNOW)$ , que retorna o mês correspondente a um determinado momento da simulação. Neste caso, o argumento da função é o exato momento em que a entidade passa pelo módulo ( $TNOW$ ).

A quantidade de dias de cada mês do ano também é armazenada em vetores de 12 posições, como mostra equação (4.13).

Já a sazonalidade dia da semana é armazenada em vetores de 7 posições, uma para cada dia da semana. O argumento do vetor de sazonalidade, conforme a equação (4.14), é a função pré-definida do Arena que retorna o dia da semana de um dado momento da simulação ( $CalDayOfWeek(TNOW)$ ).

As metas de venda diária de cada região são consolidadas e salvas em vetores de 365 posições para serem exportadas ao final da simulação para o relatório de saída (detalhado na próxima seção).

#### **RETIRADA DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL PARA O MERCADO**

Como foi dito, um pedido é gerado e enviado a cada dia para os terminais de distribuição para que estes possam atender à demanda diária das suas áreas de cobertura (incluindo o terminal A que atende o seu mercado local).

Os pedidos de venda enviados ao terminal E correspondem às próprias metas diárias, pois este terminal armazena o combustível especial tipo C, já com o álcool adicionado, pronto para a venda. Para os outros terminais, os pedidos são calculados multiplicando-se as metas diárias pelo percentual do combustível tipo A na mistura do produto final. A equação (4.15) mostra a definição do pedido enviado ao terminal C para atender o mercado de MS.

$$QPed\_Term\_C\_MS = MetaDia\_Term\_C\_MS * Perc\_CEsp \quad (4.15)$$

Quando um pedido chega ao terminal, verifica-se se o volume disponível no tanque é suficiente para atendê-lo. Se a quantidade de produto no tanque for suficiente, o pedido é totalmente atendido. Caso contrário, há duas possibilidades: ou a quantidade de produto no tanque é menor que o volume solicitado, neste caso o pedido é parcialmente atendido; ou o tanque está vazio e o pedido não é atendido. Em ambos os casos, a entidade é duplicada: uma segue para realizar a retirada do volume existente e a outra aguarda até que haja volume suficiente no tanque para atender o volume restante do pedido.

No final do processo, nos terminais que armazenam o combustível especial puro, o álcool é adicionado ao volume retirado do tanque para formar o volume total vendido ao mercado. Depois, as vendas realizadas no dia são acumuladas e consolidadas em vetores de 365 posições para serem exportadas ao final da simulação para o Relatório de Saída. O nível de serviço diário para a região também é calculado, armazenado em vetores de 365 posições e exportado para o Relatório de Saída no final da simulação. A equação (4.16) abaixo mostra como é calculado o nível de serviço diário para o mercado de MS, atendido pelo terminal C.

$$NS\_TESPA\_MS(\text{CalDayOfYear}(TNOW)) = Mn\left(\frac{QAcVendas\_TESPA\_MS}{MetaDia\_TESPA\_MS}, 1\right) \quad (4.16)$$

É possível notar na equação que o nível de serviço é limitado ao valor um, ou seja, neste conceito de nível de serviço, as vendas de outros dias em atraso não são admitidas. Como será visto no capítulo que trata dos indicadores de desempenho, o *nível de serviço acumulado*, que considera os atrasos ocorridos no período de análise, também é calculado e apresentado no Relatório de Saída.

#### **O TRANSPORTE RODOVIÁRIO DOS COMPONENTES E DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL AO LONGO DA CADEIA**

Os transportes rodoviários realizados ao longo da cadeia de suprimento do combustível especial seguem a mesma lógica de modelagem.

Primeiro, o volume a ser transportado de um ponto para outro é definido e salvo em uma variável do modelo. Em seguida, calcula-se a quantidade necessária de caminhões para transportar o volume desejado; e verifica-se se esta quantidade é positiva, isto é, se há de fato no local produto para ser transportado. Finalmente, se a necessidade de transporte for confirmada, uma solicitação de transporte é enviada para a transportadora.

Não há limites de caminhões para a realização do transporte, a transportadora deve estar preparada para atender a qualquer demanda <sup>9</sup>.

Uma lógica de fornecimento de caminhões foi desenvolvida para representar a transportadora: uma única entidade é criada no início da simulação e fica retida através do módulo *Hold* até que o pedido de transporte seja enviado. Quando o pedido chega, a entidade é duplicada: uma entidade vai liberar a quantidade solicitada de caminhões para efetuar o transporte; e a outra, volta ao ponto de origem e fica aguardando uma nova solicitação por transporte. No momento em que o transporte é liberado, verifica-se a quantidade disponível de bicos<sup>10</sup> para carga/descarga dos caminhões, no local de origem e no local de destino. Isto é, verifica-se quantos caminhões poderão ser carregados/ descarregados simultaneamente.

<sup>9</sup> Na prática, há mais de uma transportadora contratada. As refinarias e os terminais contratam transportadoras de acordo com as suas necessidades.

<sup>10</sup> A quantidade de bicos disponíveis é parametrizada no arquivo de entrada e lida no início da simulação.

Cada caminhão deve respeitar o horário de funcionamento do local onde a operação é realizada, e esperar até que se tenha pelo menos um bico disponível para recebê-lo. Quando essas duas condições são satisfeitas, inicia-se, então, o processo de carga/descarga dos caminhões. Este processo envolve ou a adição de produto em tanque (descarga de caminhões), ou a retirada de produto de tanque (carga de caminhões). Ou seja, é um processo de fluxo contínuo, que utiliza os módulos do *Flow Process* do Arena. (Vide seção 4.4.3).

### CONSOLIDAÇÃO E EXPORTAÇÃO DAS INFORMAÇÕES PARA O RELATÓRIO DE SAÍDA

As informações referentes ao fluxo de produtos ao longo da cadeia de suprimento são consolidadas diariamente e armazenadas em vetores de 365 posições. Como será detalhado na próxima seção, ao final da simulação essas informações são exportadas para um arquivo de saída, onde são calculados e apresentados os indicadores de desempenho. Alguns indicadores, como o nível de serviço, são calculados no próprio modelo.

A Figura 4.12 mostra a animação completa do modelo do cenário base.

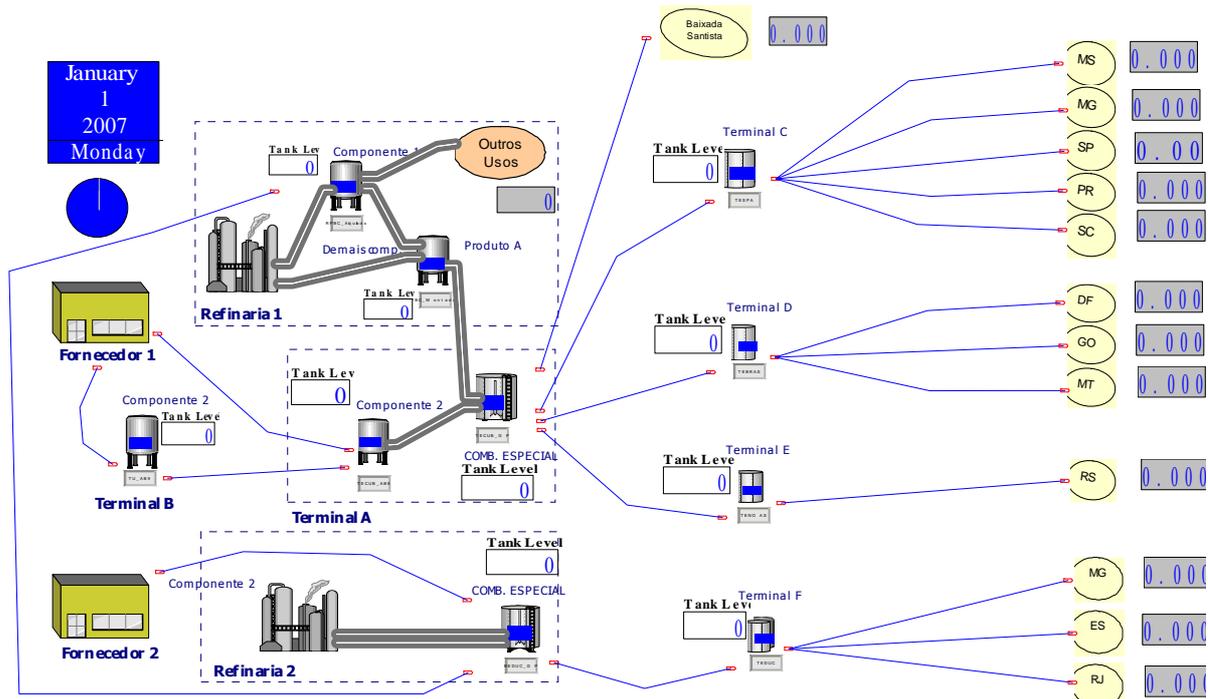


FIGURA 4.12: ANIMAÇÃO COMPLETA DO MODELO

#### 4.4.5 Relatório de saída

Uma vez definidas as premissas e os parâmetros, o modelo de simulação é rodado e, ao final da corrida, informações relativas ao fluxo de produtos ao longo da cadeia são consolidadas para gerar o relatório de análise do modelo. Este relatório

consiste em uma planilha Excel (Relatório.xls) para onde as informações são exportadas.

Seguem as informações básicas do fluxo de produtos ao longo da cadeia que são exportadas ao final da corrida:

- Quantidade adicionada de produto (seja componente ou produto final) em cada tanque de armazenagem da cadeia de suprimento;
- Quantidade retirada de produto (seja componente ou produto final) em cada tanque de armazenagem da cadeia de suprimento;
- Estoque de produto (seja componente ou produto final) em cada tanque de armazenagem da cadeia de suprimento;
- Demanda pelo combustível especial, agregada por terminal e área de influência;
- Vendas realizadas do combustível especial, por terminal e área de influência;

Todo esses volumes estão em m<sup>3</sup> e são consolidados para cada dia do ano.

Além dessas informações, também são exportadas informações relativas a cada batelada de produção para cada um dos pólos produtores:

- Quantidade formulada; e
- Lead-Time de produção.

A Tabela 4.12 mostra o estoque diário exportado ao final de uma corrida de simulação. Cada planilha em amarelo (parte inferior da tabela) do arquivo Excel representa uma das informações exportadas.

TABELA 4.12: INFORMAÇÕES DO FLUXO DE PRODUTOS EXPORTADAS AO FINAL DA CORRIDA DE SIMULAÇÃO. DETALHE: ESTOQUE DIA

	A	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Q
1	2007											
2		Refinaria 1_Comp1	Refinaria 1_Prod_A	Terminal B_Comp 2	Terminal A_Comp 2	Terminal A_PE	Refinaria 2_PE	Terminal F	Terminal C	Terminal D	Terminal E	
3	1	3.267	3.000	95	970	-	666	1.593	1.707	219	100	
4	2	2.172	1.680	1.040	526	840	900	1.168	740	200	144	
5	3	2.345	1.116	1.040	526	1.480	1.176	1.135	685	191	132	
6	4	2.517	1.193	1.040	526	1.480	1.277	1.105	623	186	127	
7	5	2.689	1.269	1.040	526	1.480	1.364	1.073	567	179	119	
8	6	2.862	1.345	1.040	526	1.480	1.364	1.031	501	171	107	
9	7	3.034	1.421	1.040	526	1.480	1.364	1.027	479	171	103	
10	8	3.206	1.498	1.040	526	954	1.364	1.027	659	171	103	
11	9	2.772	1.574	1.040	526	542	1.454	996	1.091	163	182	
12	10	2.945	1.650	1.040	526	311	1.904	963	1.383	156	174	
13	11	3.117	1.726	1.040	526	306	1.904	937	1.324	150	163	
14	12	3.222	1.803	1.040	526	299	1.904	904	1.262	143	152	
15	13	3.222	1.879	1.040	526	290	1.904	859	1.197	133	141	
16	14	3.222	1.955	1.040	526	289	1.904	854	1.179	133	137	
17	15	3.222	2.031	1.040	526	289	1.484	854	1.179	133	137	
18	16	3.222	2.108	1.040	526	263	1.124	1.217	1.115	124	129	
19	17	3.222	1.709	365	566	1.116	1.004	1.638	1.050	119	121	
20	18	3.222	1.408	365	836	1.493	1.004	1.672	992	111	113	
21	19	3.222	1.484	365	836	1.493	1.004	1.641	923	102	101	
22	20	3.222	1.561	365	836	1.493	1.004	1.603	867	91	94	
23	21	3.222	1.637	365	836	1.493	1.004	1.598	850	91	90	
24	22	3.222	1.713	365	836	1.268	1.004	1.598	850	91	90	
25	23	3.222	1.789	365	836	885	1.004	1.570	1.007	129	126	
26	24	3.222	1.866	365	836	656	1.004	1.535	1.363	168	162	
27	25	3.222	1.942	365	836	650	1.004	1.503	1.304	161	154	
28	26	3.222	2.018	365	836	644	1.004	1.471	1.245	153	144	
29	27	3.222	2.094	365	836	637	1.004	1.417	1.190	142	133	
30	28	3.222	2.171	365	836	636	1.004	1.412	1.170	142	128	
31	29	3.222	2.247	365	836	636	1.004	1.412	1.170	142	128	
32	30	3.222	2.323	365	836	629	1.004	1.381	1.105	134	121	
33	31	3.222	2.399	365	836	623	1.004	1.354	1.053	128	114	
34	32	3.222	2.476	815	971	617	1.004	1.327	1.002	121	106	
35	33	3.222	2.552	815	971	611	1.004	1.293	924	113	97	
36	34	3.222	2.628	815	971	601	1.004	1.237	854	103	89	
37	35	3.222	2.704	815	971	601	1.004	1.231	837	103	86	
38	36	3.222	2.781	815	971	601	1.004	1.231	837	103	86	
39	37	3.222	2.857	815	971	598	1.004	1.199	773	92	79	
40	38	3.222	2.933	815	971	594	1.004	1.167	725	82	73	
41	39	3.222	3.000	815	971	590	1.004	1.128	667	75	67	
42	40	3.267	3.000	815	971	584	1.004	1.079	593	68	58	
43	41	3.267	3.000	815	971	577	1.004	1.019	513	56	46	
44	42	3.267	3.000	815	770	417	1.004	1.013	675	55	43	
45	43	3.267	2.336	815	594	1.257	1.004	1.013	810	55	43	
46	44	3.222	2.197	815	594	1.473	1.004	995	756	93	37	
47	45	3.222	2.273	815	594	1.473	1.004	958	697	83	33	
48	46	3.222	2.349	815	594	1.473	1.004	931	634	74	29	

A partir dessas informações de movimentação e estoque exportadas para o Excel, são calculados os indicadores para a avaliação de desempenho da cadeia. Todos os indicadores de desempenho logístico e econômico que compõem o relatório de análise da cadeia são apresentados no *Capítulo 5 - Avaliação de Desempenho*.

#### 4.5 Verificação e validação do modelo

Esta fase busca assegurar que o modelo de simulação esteja sendo corretamente implementado: que funcione corretamente, sem erros de sintaxe e/ou lógica, e que seja representativo do sistema real ou projetado.

De acordo com FREITAS FILHO, 2001, uma vez que uma série de pressupostos e simplificações sobre o comportamento do sistema real costuma ser realizada no desenvolvimento do modelo, qualquer tomada de decisão com base em seus resultados deve ser precedida de uma avaliação de sua qualidade e apropriação. Esta avaliação é feita em duas etapas: a verificação e a validação do modelo.

## VERIFICAÇÃO DO MODELO

A verificação consiste em avaliar se o modelo computacional foi corretamente implementado, sem erros de sintaxe ou lógica, com todas as premissas e as simplificações do modelo conceitual.

No caso específico do projeto de simulação que compõe este trabalho, a verificação dos modelos desenvolvidos foi realizada simultaneamente com a etapa de tradução do modelo conceitual para o modelo computacional. Cada parte do modelo desenvolvida era sempre acompanhada de sua verificação. Para isso foram utilizadas algumas técnicas sugeridas no livro de FREITAS FILHO, 2001:

- Execução de casos simplificados: esta técnica foi utilizada principalmente para entender a lógica de funcionamento de alguns *templates* ou módulos presentes no software de simulação Arena versão 11. Desta forma, antes de modelar um determinado processo da cadeia de suprimento, com a sua real complexidade, modelos simplificados eram desenvolvidos e analisados até que a funcionalidade do software em questão fosse completamente entendida.
- Variação sobre os dados de entrada: consiste em variar os dados de entrada e verificar se os resultados produzidos pelo modelo são adequados e consistentes.
- Aplicação de testes de continuidade: são aplicados durante várias rodadas do mesmo modelo de simulação. A cada rodada aplica-se pequenas alterações sobre determinados parâmetros de entrada e verifica-se as alterações provocadas nos resultados. Pequenas alterações em cada parâmetro na maioria das vezes provoca pequenas alterações dos resultados. Qualquer mudança radical deve ser investigada. Entretanto, nos processos que envolvem variáveis estocásticas é preciso saber se as alterações nos resultados não são consequência da função de probabilidade empregada. Neste caso, a solução utilizada foi a troca dos parâmetros estocásticos por parâmetros determinísticos.
- Uso de dispositivos de rastreamento: tais dispositivos existem na maioria das linguagens de simulação. No caso do Arena, existem os *breakpoints*, que podem ser colocados em qualquer módulo do Arena. Quando o modelo é rodado, se uma entidade passar pelo *breakpoint*, a simulação entra em pausa. Neste momento, é possível verificar todas as alterações ocorridas nas variáveis e nos atributos relacionados ao evento em questão.

Um outro recurso bastante utilizado para a verificação dos modelos foi a animação. Ao observar o funcionamento do modelo no tempo, a ocorrência ou não de

determinados eventos (chegada de caminhões, variação nos níveis dos tanques, etc.) era possível identificar problemas pontuais na lógica de modelagem ou na sintaxe dos modelos.

### **VALIDAÇÃO DO MODELO**

A validação consiste em saber se, apesar dos pressupostos e simplificações implementados, o modelo ainda é válido, isto é, comporta-se à semelhança do sistema real.

O pressuposto básico de qualquer processo de simulação considera que, de alguma maneira, o analista estará comparando um modelo com o mundo real. Segundo FREITAS FILHO, 2001, este aspecto traz à tona alguns problemas de ordem prática e teórica.

Um dos problemas de ordem prática apontado, que se aplica bem ao presente trabalho, é que poucas são as oportunidades em que se constrói um modelo para que este atue de forma idêntica ao sistema real. (...) A maioria das análises procura verificar o desempenho de alternativas diversificadas para um novo projeto, seja ele baseado num sistema real existente ou não.

Quanto ao aspecto teórico, se o emprego de qualquer técnica, incluindo-se modelagem e simulação, objetiva o aprendizado e o progresso no estudo de um sistema real, baseando-se em pressupostos e hipóteses, então é melhor que tais pressupostos e hipóteses sejam validados de alguma maneira.

Segundo vários autores, a análise e a avaliação de modelos por parte de especialista é a melhor e a mais simples forma de validá-los.

Neste trabalho, a validação dos modelos teve a participação direta dos representantes do sistema real desde a definição do problema, passando pela construção do modelo conceitual, até a sua tradução para o modelo computacional e experimentação. A validação era realizada a cada etapa do desenvolvimento do projeto, com sucessivas apresentações e reformulações.

Para garantir a correta representação dos modelos, realizou-se: a validação da lógica dos modelos com o fluxo dos processos reais; a obtenção e a validação dos dados de entrada pelos representantes dos processos e/ou por dados históricos (como apresentado na seção 4.3 Coleta e tratamento dos dados); o balanço de massa dos

principais produtos ao longo da cadeia; e, por último, uma avaliação de consistência dos principais indicadores de desempenho pelos representantes do sistema.

As tabelas 4.13 e 4.14 mostram os balanços de massa do fluxo dos componentes e do combustível especial nos seus respectivos tanques de armazenagem para uma corrida do modelo do cenário base.

A soma entre o estoque inicial e a quantidade de produto adicionada no período em um determinado tanque deve ser igual à soma entre o estoque final e a quantidade retirada de produto do tanque no mesmo período.

TABELA 4.13: BALANÇO DE MASSA DO FLUXO DOS COMPONENTES NOS TANQUES DE ARMAZENAGEM

Balanço de massa dos componentes nos tanques de armazenagem				
Local Produto	Refinaria 1 Comp1	Refinaria 1 Prod A	Terminal B Comp 2	Terminal A Comp 2
Estoque inicial	2.000	2.000	725	700
Entrada	100.824	20.214	4.005	8.505
<b>Soma</b>	<b>102.824</b>	<b>22.214</b>	<b>4.730</b>	<b>9.205</b>
Saída	99.557	19.214	4.635	8.235
Estoque final	3.267	3.000	95	970
<b>Soma</b>	<b>102.824</b>	<b>22.214</b>	<b>4.730</b>	<b>9.205</b>

TABELA 4.14: BALANÇO DE MASSA DO FLUXO DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL NOS TANQUES DE ARMAZENAGEM

Balanço de massa do combustível especial nos tanques de armazenagem						
Local Produto	Terminal A PE	Refinaria 2 PE	Terminal C	Terminal D	Terminal E	Terminal F
Estoque inicial	-	-	800	210	150	1.200
Entrada	27.449	10.956	21.649	2.385	1.800	10.290
<b>Soma</b>	<b>27.449</b>	<b>10.956</b>	<b>22.449</b>	<b>2.595</b>	<b>1.950</b>	<b>11.490</b>
Saída	27.449	10.290	20.635	2.411	1.889	9.855
Estoque final	-	666	1.814	184	61	1.635
<b>Soma</b>	<b>27.449</b>	<b>10.956</b>	<b>22.449</b>	<b>2.595</b>	<b>1.950</b>	<b>11.490</b>

## CAPÍTULO 5

### 5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A partir da revisão bibliográfica realizada no capítulo 2, este capítulo tem por finalidade definir o conjunto de indicadores a ser utilizado no estudo de desempenho da cadeia de suprimento do combustível especial.

Segundo FERRAES NETO e KUEHNE JR, 2002, pode-se definir logística como sendo a junção de quatro atividades básicas: as de *aquisição*, *movimentação*, *armazenagem* e *entrega* de produtos. [A atividade básica de aquisição pode ser relacionada às atividades de *produção* e *compra*]. Ou ainda, de acordo com FLEURY *et al.*, 2000, desde que o homem abandonou a economia extrativista e deu início às atividades produtivas organizacionais surgiram três das mais importantes funções logísticas: *estoque*, *armazenagem* e *transporte*.

O sistema de avaliação de desempenho de qualquer cadeia de suprimento, conforme BEAMON, 1999, deve abranger três componentes vitais: uso dos recursos (níveis de estoque, utilização de equipamentos, custos, etc.), saída desejada (produção, lead time, etc.) e flexibilidade (quão bem o sistema reage a incertezas).

O conjunto de indicadores proposto neste capítulo procura abranger tanto essas definições básicas de logística quanto os componentes vitais citados por Beamon.

#### 5.1 Desempenho Logístico

O primeiro passo é definir as principais premissas e parâmetros a serem considerados no modelo de simulação. O modelo deve representar bem a realidade que se deseja analisar <sup>11</sup>.

Uma vez definidas as premissas e os parâmetros, o modelo de simulação é rodado e, ao final da corrida, informações relativas ao fluxo de produtos ao longo da

---

<sup>11</sup> O detalhamento deste passo foi feito no capítulo 4: Simulação Computacional.

cadeia são consolidadas para gerar o relatório de análise do modelo (Vide seção: 4.4.5 - Relatório de saída).

A partir das informações básicas de movimentação e estoque geradas pelo modelo de simulação, são calculados os indicadores para a avaliação de desempenho da cadeia.

### 5.1.1 Indicadores de produção

São os indicadores relacionados à produção do combustível especial nos 2 pólos produtores: aquisição (compra ou produção) dos principais componentes e formulação do combustível especial.

- Volume produzido, em cada pólo produtor;
- Volume utilizado de cada componente, em cada pólo produtor;
- Lead-time de produção – tempo decorrido desde o início do recebimento do primeiro componente até a certificação do produto para a retirada;
- Lead-time total – lead-time de produção mais o tempo de retirada de todo o produto do tanque de formulação;
- Custo de produção – obtido através do custo de oportunidade dos componentes internos e do custo de aquisição do componente adquirido no mercado. Esses custos são ponderados pela proporção dos componentes na formulação do combustível especial em cada pólo de produção. Vide Tabela 5.1.

TABELA 5.1: CUSTO DE OPORTUNIDADE DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL

Cenário Base		
Pólo 1	Formulação	Custo de Oportunidade
Componente 1	56,0%	450
Componente 2	30,0%	950
Componente 5	10,5%	400
Componente 6	3,5%	650
<b>Combustível Especial</b>	<b>100,0%</b>	<b>602</b>

Pólo 2	Formulação	Custo de Oportunidade
Componente 1	25,0%	500
Componente 2	5,0%	900
Componente 3	50,0%	500
Componente 4	20,0%	400
<b>Combustível Especial</b>	<b>100,0%</b>	<b>500</b>

Na seção 7.2, são realizados estudos de capacidade máxima de produção para algumas configurações do sistema de produção do combustível especial. Neste tipo de estudo, os indicadores utilizados para análise e tomada de decisão são os indicadores de produção (vide Tabela 7.3).

### 5.1.2 Indicadores de armazenagem/estoque

São os indicadores relacionados à armazenagem e estoque de todos os produtos e tanques que compõem o sistema estudado:

- Capacidade de tancagem;

- Estoque médio diário;
- Giro de capacidade – quantidade retirada do produto no período analisado dividido pela capacidade do tanque;
- Giro de estoque médio – quantidade retirada do produto no período analisado dividido pelo estoque médio;
- Dias de estoque – venda diária média sobre estoque diário médio;

TABELA 5.2: INDICADORES DE ARMAZENAGEM / ESTOQUE

Tanques - Estoques, Retiradas e Giro							
Produto	Local	Capacidade	Estoque Médio	Ode Retirada	Giro (capac)	(mês)	Giro (est. méd) (mês)
Componente 2	Terminal B	1.500	486	4.635	3,09	0,26	9,54
C. Especial	Refinaria 2	5.000	1.094	10.290	2,06	0,17	9,41
Componente 1	Refinaria 1	3.500	3.211	99.557	28,44	2,37	31,00
Produto A		3.500	2.600	19.214	5,49	0,46	7,39
Componente 2	Terminal A	1.000	736	8.235	8,23	0,69	11,19
C. Especial		1.500	1.021	27.449	18,30	1,52	26,89
C. Especial	Terminal C	2.000	993	20.635	10,32	0,86	20,77
C. Especial	Terminal D	500	112	2.411	4,82	0,40	21,60
C. Especial	Terminal E	300	60	1.889	6,30	0,52	31,37
C. Especial	Terminal F	1.800	1.212	9.855	5,48	0,46	8,13

- Gráficos com a evolução dos estoques diários no período analisado <sup>12</sup>;

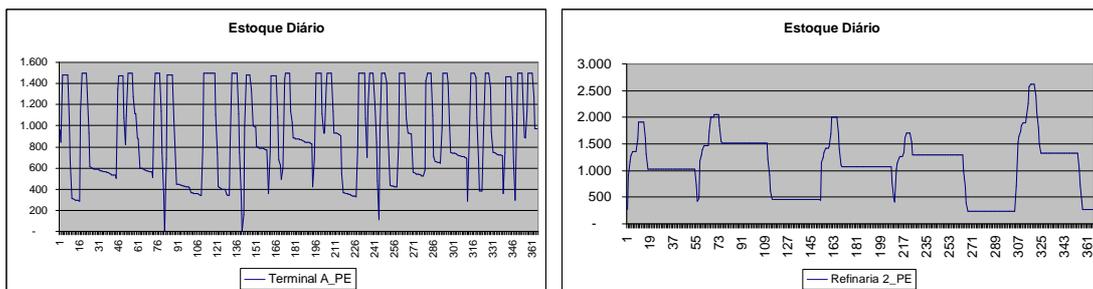


FIGURA 5.1: EVOLUÇÃO DOS ESTOQUES NOS TANQUES DE FORMULAÇÃO DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL

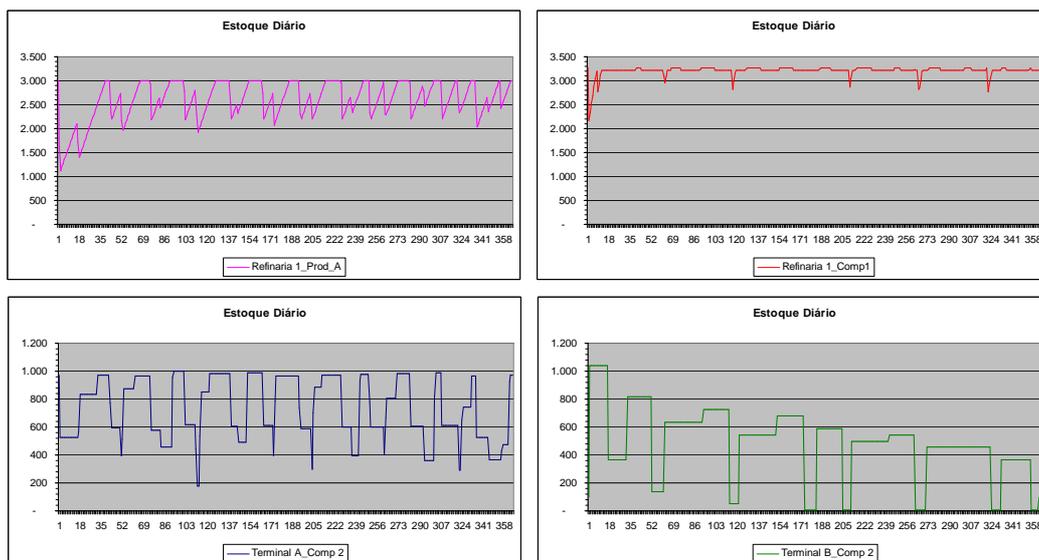


FIGURA 5.2: EVOLUÇÃO DOS ESTOQUES DOS COMPONENTES DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL

<sup>12</sup> O período de análise definido para os modelos de simulação é de 1 ano.

Todas as tabelas e gráficos apresentados nesta seção e nas seções seguintes deste capítulo referem-se a uma corrida do modelo de simulação do cenário base (conforme o fluxo esquemático da Figura 3.1) para uma demanda média de 4.000 m<sup>3</sup>/mês.

- Análise por faixa de estoque

São definidas 3 faixas de estoque:

- faixa verde (onde se deseja que os estoques permaneçam) – acima desta faixa significa “super-estoque”, ou seja, estoque além do necessário, o que implica em maior custo financeiro de estoque. É, portanto, indesejado;
- faixa amarela (alerta) – significa risco de desabastecimento caso ocorra algum imprevisto. Corresponde ao estoque de segurança;
- faixa vermelha (área crítica) – significa risco iminente de falta de produto.

Para cada faixa, são calculados: o número de dias e a utilização (o volume em m<sup>3</sup>) acima ou abaixo dos seus limites. Para a faixa verde, importa saber quantos dias e qual volume se ficou acima do seu limite superior (super-estoque); já para as faixas amarela e vermelha, deseja-se saber o quanto se ficou abaixo dos seus limites, pois indicam o risco de desabastecimento. Esta análise pode ser observada na Figura 5.3, mais à frente.

- Custo de tancagem – custo de oportunidade do aluguel do tanque utilizado: capacidade destinada ao produto multiplicada pelo valor do aluguel que se cobraria no mercado por um tanque com as mesmas características do tanque utilizado, no período considerado. Vide Tabela 5.4, mais à frente.
- Custo financeiro do estoque – custo de oportunidade do capital imobilizado em estoque de produto: volume médio em estoque no período analisado multiplicado pelo preço de aquisição do produto e pelo taxa de oportunidade considerada. Vide Tabela 5.4, mais à frente.

Tanques de G. Podium				Capacidade	Venda Dia Média	Estoque Dia Médio	Dias de Estoque	
<b>Terminal C</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	1.800 866 (acima) 7 (acima)	500 48 (abaixo) 2 (abaixo)	100 0 (abaixo) 0 (abaixo)	2.000	75,74	993	13,12
<b>Terminal D</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	250 0 (acima) 0 (acima)	50 62 (abaixo) 8 (abaixo)	20 0 (abaixo) 0 (abaixo)	500	8,83	112	12,64
<b>Terminal E</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	180 2 (acima) 1 (acima)	30 804 (abaixo) 62 (abaixo)	10 86 (abaixo) 16 (abaixo)	300	5,19	60	11,60
<b>Terminal F</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	1.620 1.248 (acima) 35 (acima)	720 136 (abaixo) 4 (abaixo)	90 0 (abaixo) 0 (abaixo)	1.800	36,13	1.212	33,56

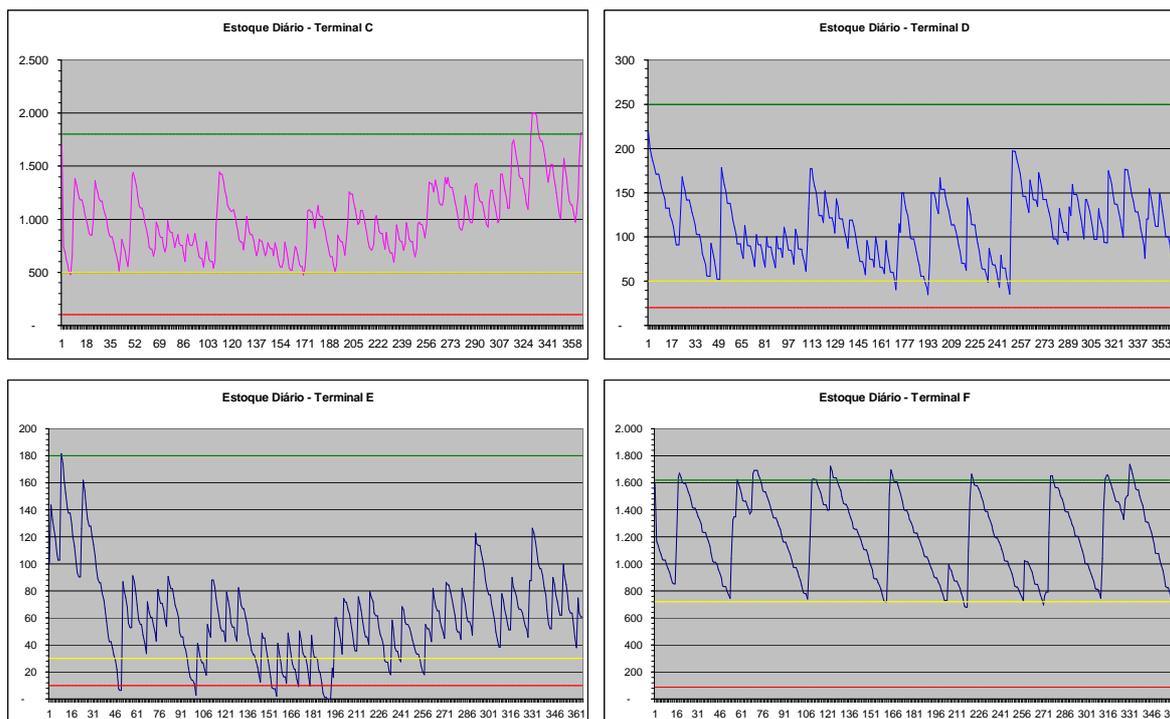


FIGURA 5.3: ANÁLISE POR FAIXA DE ESTOQUE DOS TANQUES DE ARMAZENAGEM DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL DOS TERMINAIS DE DISTRIBUIÇÃO

### 5.1.3 Indicadores de movimentação

- Volumes transferidos dos tanques de formulação para os terminais de distribuição;
- Quantidade de caminhões utilizados para cada terminal;
- Tempo médio de transferência para cada terminal;
- Custo de transferência – frete médio de transferência multiplicado pelo volume transferido. Vide Tabela 5.4.

### 5.1.4 Indicadores de venda

São os indicadores relacionados à entrega (venda) do produto para o cliente final (posto de gasolina):

- Volume demandado;

- Volume vendido;
- Nível de serviço por área de abrangência dos terminais – o nível de serviço é analisado de duas formas: na primeira, a mais robusta, verifica-se que valor da demanda foi atendida por dia, sem considerar possíveis atrasos (vide seção 4.4.4 Descrição da lógica do modelo, Retirada do combustível especial para o mercado); na segunda análise, confronta-se a venda realizada acumulada com a demanda acumulada no período de análise (um ano), ou seja, considera-se neste caso a possibilidade de que o produto seja entregue com algum atraso.

TABELA 5.3: INDICADORES DE VENDA

Terminais/Regiões	N. Serviço Méd. - Venda	N. Serviço Ac - Venda	Dem Acum	Venda Acum	Dem Dia Média	Venda Dia Média
Terminal A SP	62,2%	99,4%	2.045	2.033	5,60	5,57
Terminal C MS	100,0%	100,0%	233	233	0,64	0,64
Terminal C MG	100,0%	100,0%	638	638	1,75	1,75
Terminal C PR	100,0%	100,0%	2.807	2.807	7,69	7,69
Terminal C SC	100,0%	100,0%	3.815	3.815	10,45	10,45
Terminal C SP	100,0%	100,0%	20.153	20.153	55,21	55,21
<b>Terminal C Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>27.647</b>	<b>27.647</b>	<b>75,74</b>	<b>75,74</b>
Terminal D DF	100,0%	100,0%	1.896	1.896	5,19	5,19
Terminal D GO	100,0%	100,2%	503	504	1,38	1,38
Terminal D MT	100,0%	100,0%	823	823	2,25	2,25
<b>Terminal D Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>3.222</b>	<b>3.223</b>	<b>8,83</b>	<b>8,83</b>
Terminal E RS	99,2%	100,3%	1.890	1.895	5,18	5,19
Terminal F ES	100,0%	100,0%	774	774	2,12	2,12
Terminal F MG	100,0%	100,0%	1.703	1.703	4,67	4,67
Terminal F RJ	100,0%	100,0%	10.709	10.709	29,34	29,34
<b>Terminal F Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>13.186</b>	<b>13.186</b>	<b>36,13</b>	<b>36,13</b>
<b>Total</b>	<b>98,37%</b>	<b>100,0%</b>	<b>47.990</b>	<b>47.985</b>	<b>131,48</b>	<b>131,47</b>

- Custo de distribuição – frete médio de distribuição multiplicado pelo volume vendido;
- Custo da venda perdida – volume de venda perdida multiplicado pelo preço de venda do produto. Vide Tabela 5.5.

Como a demanda diária é calculada a partir da demanda mensal prevista e agregada nas áreas de abrangência dos terminais de distribuição, não faz sentido calcular a quantidade de caminhões utilizados.

### 5.1.5 Custos Logísticos

Na Tabela 5.4 e na Tabela 5.5 , são apresentados os custos logísticos explicados nas seções anteriores. Os custos referem-se à mesma corrida de simulação do cenário base para o período de 1 ano. Cabe lembrar mais uma vez que as informações que alimentam o modelo são modificadas por motivo de confidencialidade e segurança da informação.

TABELA 5.4: CUSTOS LOGÍSTICOS: PRODUÇÃO, TRANSFERÊNCIA, TANCAGEM / ESTOQUE

Produção do C. Especial			
Centro	Volume (M3)	C. Oport. (R\$/M3)	C. Oport. (R\$)
Refinaria 1	27.449,14	602	16.517.520
Refinaria 2	10.955,97	500	5.477.987
<b>Total</b>	<b>38.405</b>		<b>21.995.507</b>

Transferências							
Centro	Terminal	Volume (M3)	Distâncias (km)	Tempo de viagem (h)	Onde caminhões	Frete Transf. (R\$/M3)	Frete Transf. (R\$)
Refinaria 1	Terminal C	21.649	54	1,35	481	25	541.227
	Terminal D	2.385	1.055	26,38	53	110	262.350
	Terminal E	1.800	1.042	26,05	40	80	144.000
	<b>Total</b>	<b>25.834</b>	<b>215</b>	<b>5,38</b>	<b>574</b>		<b>947.577</b>
Refinaria 2	Terminal F	10.290	1	0,03	229	20	205.800
	<b>Total</b>	<b>10.290</b>	<b>1</b>	<b>0,03</b>	<b>229</b>		<b>205.800</b>
<b>Total</b>		<b>36.124</b>	<b>154</b>	<b>3,86</b>	<b>803</b>		<b>1.153.377</b>

Tancagem / Estoques							
Centro/ Terminal	Produto	Tancagem (M3)	C. Tancagem (R\$/m3)	C. Tancagem (R\$)	Est. Médio (M3)	C. Financ. (R\$/M3)	C. Financ. (R\$)
Refinaria 1	Comp 1	592	276	163.325	543	54	29.319
	Produto A	1.838	276	507.150	1.365	54	74.106
Terminal A	Comp 2	1.000	276	276.000	736	114	83.881
	P. Especial	1.500	276	414.000	1.021	60	61.250
Terminal B	Comp 2	1.500	276	414.000	486	114	55.384
Terminal C	P. Especial	2.000	276	552.000	993	162	160.944
Terminal D	P. Especial	500	276	138.000	112	162	18.088
Terminal E	P. Especial	300	276	82.800	60	162	9.756
<b>Total</b>		<b>9.229</b>		<b>2.547.275</b>	<b>5.316</b>		<b>492.727</b>
Refinaria 2	P. Especial	5.000	300	1.500.000	1.094	60	65.629
Terminal F	P. Especial	1.800	300	540.000	1.212	156	189.122
<b>Total</b>		<b>6.800</b>		<b>2.040.000</b>	<b>2.306</b>		<b>254.750</b>
<b>Total</b>		<b>16.029</b>		<b>4.587.275</b>	<b>7.622</b>		<b>747.477</b>

TABELA 5.5: CUSTOS LOGÍSTICOS: DISTRIBUIÇÃO E VENDA PERDIDA, RESUMO DOS CUSTOS

Distribuição							
Terminal	Região	Demanda (M3)	Frete Distr. (R\$/M3)	Frete Distr. (R\$)	N. Serv.	P. Venda (R\$/M3)	C. Perda Venda (R\$)
Terminal A	São Paulo	2.045	30	61.344	62,2%	2.000	1.546.203
	<b>Total</b>	<b>2.045</b>		<b>61.344</b>			<b>1.546.203</b>
Terminal C	Mato Grosso do Sul	233	375	87.250	100,0%	2.110	0
	Minas Gerais	638	130	82.953	100,0%	2.050	0
	Paraná	2.807	105	294.786	100,0%	2.035	0
	Santa Catarina	3.815	130	495.990	100,0%	2.043	0
	São Paulo	20.153	30	604.596	100,0%	2.032	0
	<b>Total</b>	<b>27.647</b>		<b>1.565.576</b>			<b>0</b>
Terminal D	Brasília	1.896	10	18.961	100,0%	2.025	0
	Goiás	503	47	23.654	100,0%	2.035	0
	Mato Grosso	823	300	246.911	100,0%	2.085	0
	<b>Total</b>	<b>3.222</b>		<b>289.526</b>			<b>0</b>
Terminal E	Rio Grande do Sul	1.890	50	94.498	99,2%	2.095	30.338
	<b>Total</b>	<b>1.890</b>		<b>94.498</b>			<b>30.338</b>
Terminal F	Espírito San	774	27	20.901	100,0%	1.995	0
	Minas Gerais	1.703	24	40.866	100,0%	1.956	0
	Rio de Janeiro	10.709	16	171.348	100,0%	1.985	0
	<b>Total</b>	<b>13.186</b>		<b>233.115</b>			<b>0</b>
<b>Total</b>		<b>47.990</b>		<b>2.244.058</b>	<b>98,4%</b>		<b>1.576.541</b>

Resumo dos custos logísticos (R\$)		
C. Oport.		21.995.507
<b>C. Prod.</b>	<b>68,1%</b>	<b>21.995.507</b>
Frete Transf.	11,2%	1.153.377
C. Tancagem	44,5%	4.587.275
C. Financ. Estoque	7,3%	747.477
Frete Distr.	21,8%	2.244.058
C. Perda de venda	15,3%	1.576.541
<b>C. Logísticos</b>	<b>31,9%</b>	<b>10.308.728</b>
<b>Custos Totais</b>	<b>100,0%</b>	<b>32.304.235</b>

## 5.2 Desempenho Econômico

Como afirmaram MONCZKA e MORGAN, 2000, os indicadores de desempenho de tarefas são importantes, mas não são suficientes para avaliar a sua contribuição estratégica para o sucesso do negócio. Além de verificar o desempenho operacional, os custos envolvidos, o lucro obtido, é necessário relacionar o desempenho da empresa – ou da cadeia de suprimento – com o capital investido.

Apesar das limitações apresentadas por alguns autores (algumas delas são mostradas capítulo 2: Revisão Bibliográfica), acreditamos que o EVA<sup>®</sup>, ou *Economic Value Added* (Valor Econômico Agregado) pode ser bem aplicado aos nossos estudos, aos objetivos pretendidos.

### 5.2.1 Definição de EVA<sup>®</sup> – Economic Value Added

O EVA é um conceito desenvolvido pela consultoria Stern Stewart & Co. no início da década de 80 que se baseia na idéia de lucro econômico (lucro residual). Este conceito afirma que o lucro só existe após a remuneração do capital empregado pelo seu custo de oportunidade.

EVA, portanto, é uma estimativa de lucro econômico depois de subtrair todas as despesas operacionais, inclusive o custo do capital empregado na operação, fornecido por terceiros ou por acionistas. Mede o quanto foi gerado em excesso ao retorno mínimo requerido pelos fornecedores de capital da empresa. A Figura 5.4 ilustra este conceito.



FIGURA 5.4: CONCEITO ILUSTRADO DE EVA<sup>®</sup>

O EVA pode ser definido pela seguinte equação (5.1):

$$EVA = NOPAT - (WACC \times Capital) \quad (5.1)$$

onde:

**NOPAT (Net Operating Profit After Tax)** é o lucro operacional produzido pelo capital empregado na empresa, independente de como este capital é financiado;

**WACC (Weighted Average Cost of Capital)** é o custo de capital da empresa, calculado como uma média ponderada entre o custo do capital de terceiros (Dívida) e o custo do capital próprio (Patrimônio Líquido); e

**Capital** representa o quanto foi investido na empresa para produzir o NOPAT. É o montante a ser remunerado depois do valor de venda cobrir todas as despesas da operação e mais os impostos.

Vale observar que o valor do estoque é tratado como investimento e não como custo, ou seja, o estoque vai compor o capital a ser remunerado.

A Figura 5.5 mostra um exemplo ilustrativo do cálculo do EVA.

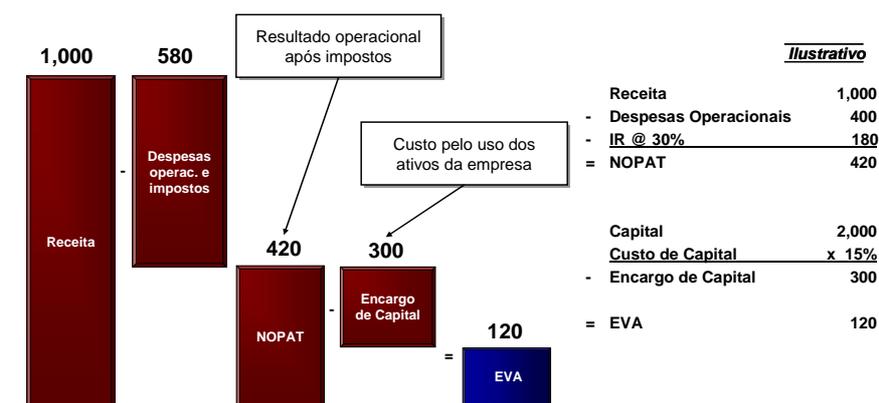


FIGURA 5.5: EXEMPLO ILUSTRATIVO DE EVA®

### 5.2.2 Aplicação da metodologia EVA para avaliação da cadeia de suprimento do combustível especial

O EVA será utilizado para avaliar o desempenho econômico da cadeia de suprimento nos diversos estudos comparativos de cenários e de sensibilidade a serem realizados.

Em cada estudo de simulação, calcula-se o EVA para toda a cadeia de suprimento: para a empresa produtora (refinarias 1 e 2) e para a empresa distribuidora (gerências de vendas 1, 2 e 3). O EVA também é consolidado para as duas empresas e para a cadeia como um todo.

A empresa produtora é composta pelos processos de produção/compra dos componentes e pelos processos de formulação do combustível especial. A partir do momento em que o combustível especial sai dos tanques de formulação, ele passa a pertencer à empresa distribuidora. Ou seja, os processos de transferência para os terminais de distribuição e de distribuição para o mercado vão compor a empresa distribuidora.

As vendas mensais da empresa produtora e da empresa distribuidora são apresentadas na Tabela 5.6. Cabe observar que a empresa produtora vende o combustível especial puro para a distribuidora, e a distribuidora vende o combustível especial com a adição de álcool anidro (25%) para o mercado.

É possível verificar na tabela como as vendas da distribuidora a partir dos seus terminais se distribuem pelas gerências de vendas. Seguindo os mesmos fatores de rateio, todos os custos e investimentos da distribuidora também são rateados pelas gerências de vendas.

A diferença entre os volumes vendidos pela empresa produtora e os volumes vendidos pela distribuidora se deve principalmente ao fato mencionado acima de uma vender o combustível especial puro e a outra, o combustível especial com a adição de álcool. Além disso, há que se considerar a política de estoques das duas empresas.

Os dados provenientes do modelo de simulação são os seguintes: volumes vendidos, volumes transferidos para os terminais de distribuição, volumes distribuídos por cada terminal para as suas áreas de abrangência, capacidade dos tanques de armazenagem, estoques e quantidade de bicos para carga e descarga de caminhão.

TABELA 5.6: VENDAS MENSAIS (M<sup>3</sup>) – EMPRESA PRODUTORA E EMPRESA DISTRIBUIDORA

Empresa produtora	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Refinaria 1	2.074	1.779	2.090	2.347	1.800	2.554	2.051	2.147	2.531	1.990	3.243	2.842
Refinaria 2	900	990	450	1.050	390	1.050	300	1.080	1.020	450	1.560	1.050
<b>Total</b>	<b>2.974</b>	<b>2.769</b>	<b>2.540</b>	<b>3.397</b>	<b>2.190</b>	<b>3.604</b>	<b>2.351</b>	<b>3.227</b>	<b>3.551</b>	<b>2.440</b>	<b>4.803</b>	<b>3.892</b>

Empresa distribuidora	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Terminal A	193	153	199	132	181	159	163	160	128	201	132	231
Terminal C	1.940	1.928	2.365	2.189	2.275	2.197	2.179	2.481	2.056	2.366	2.691	2.979
Terminal D	233	254	273	261	278	266	239	285	257	268	289	300
Terminal E	225	163	166	139	161	165	141	149	107	161	138	180
Terminal F	1.021	1.011	1.132	1.082	1.111	1.038	949	1.159	993	1.126	1.214	1.350
<b>Total</b>	<b>3.613</b>	<b>3.509</b>	<b>4.135</b>	<b>3.802</b>	<b>4.006</b>	<b>3.846</b>	<b>3.671</b>	<b>4.234</b>	<b>3.541</b>	<b>4.123</b>	<b>4.465</b>	<b>5.039</b>

G. Vendas 1	Fator Rateio	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Terminal C	0,302	587	583	715	662	688	665	659	750	622	715	814	901
Terminal D	0,164	38	42	45	43	46	47	39	47	42	44	48	49
Terminal E	1,000	225	163	166	139	161	165	141	149	107	161	138	180
<b>Total</b>	<b>1,467</b>	<b>850</b>	<b>788</b>	<b>927</b>	<b>843</b>	<b>895</b>	<b>877</b>	<b>839</b>	<b>946</b>	<b>771</b>	<b>921</b>	<b>999</b>	<b>1.130</b>

G. Vendas 2	Fator Rateio	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Terminal D	0,836	195	212	228	218	232	239	199	238	215	224	242	251
Terminal A	1,000	193	153	199	132	181	159	163	160	128	201	132	231
Terminal C	0,661	1.283	1.275	1.564	1.447	1.504	1.453	1.441	1.641	1.359	1.564	1.780	1.970
<b>Total</b>	<b>2,497</b>	<b>1.671</b>	<b>1.640</b>	<b>1.991</b>	<b>1.798</b>	<b>1.918</b>	<b>1.851</b>	<b>1.804</b>	<b>2.039</b>	<b>1.702</b>	<b>1.989</b>	<b>2.154</b>	<b>2.451</b>

G. Vendas 3	Fator Rateio	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Terminal F	1,0000	1.021	1.011	1.132	1.082	1.111	1.038	949	1.159	993	1.126	1.214	1.350
Terminal C	0,0363	70	70	86	80	83	80	79	90	75	86	98	108
<b>Total</b>	<b>1,036</b>	<b>1.092</b>	<b>1.081</b>	<b>1.218</b>	<b>1.161</b>	<b>1.193</b>	<b>1.118</b>	<b>1.028</b>	<b>1.249</b>	<b>1.067</b>	<b>1.212</b>	<b>1.311</b>	<b>1.458</b>

<b>Total</b>	<b>3,613</b>	<b>3,509</b>	<b>4,135</b>	<b>3,802</b>	<b>4,006</b>	<b>3,846</b>	<b>3,671</b>	<b>4,234</b>	<b>3,541</b>	<b>4,123</b>	<b>4,465</b>	<b>5,039</b>
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Para calcular o EVA, seguindo a definição fornecida pela Equação (5.1), o primeiro passo é encontrar o NOPAT, ou seja, o lucro operacional após a incidência do Imposto de Renda das partes que compõem a cadeia de suprimento; em seguida, determina-se o custo de capital (WACC) e o capital investido; e finalmente, calcula-se o EVA para cada uma das partes e para a cadeia de suprimento do combustível especial como um todo.

### CÁLCULO DO LUCRO OPERACIONAL APÓS O IR – NOPAT

O NOPAT é apurado para cada componente da cadeia através de uma Demonstração dos Resultados do Exercício (DRE) simplificada. A Tabela 5.7, abaixo, mostra a planilha de cálculo do NOPAT para a refinaria 1 e a Tabela 5.8, para a Gerência de Vendas 1 <sup>13</sup>.

<sup>13</sup> A planilha de cálculo da refinaria 2 é similar à da refinaria 1; e as planilhas das Gerências de Vendas 2 e 3 são similares à planilha da Gerência de Vendas 1.

Nota-se que, para as refinarias, o custo do produto é obtido através do custo de oportunidade do combustível especial, conforme explicado na seção 5.1.1. Assim, como todos os custos já estão embutidos no custo de oportunidade, a rubrica referente aos custos operacionais não deve ser preenchida.

Já para as gerências de vendas da distribuidora, o custo do produto corresponde ao custo de aquisição do combustível especial junto a empresa produtora e ao custo de aquisição do álcool para a mistura (ponderados conforme a proporção). Desta forma, os custos operacionais para fazer o produto chegar até o cliente devem ser considerados.

No presente estudo, considerou-se apenas os custos logísticos de transferência para os terminais e de distribuição para o mercado, apresentados na seção 5.1.5 *Custos Logísticos*. A diferença é que, naquela seção, os custos são consolidados por terminal de distribuição, enquanto para o cálculo do EVA eles são calculados para cada gerência de vendas, utilizando-se os fatores de rateio.

No Apêndice B.1, são apresentados os cálculos dos fretes de transferência e de distribuição utilizados para o cálculo do EVA.

TABELA 5.7: PLANILHA DE CÁLCULO DO NOPAT PARA A REFINARIA 1

<b>Refinaria 1</b>							
NOPAT, Capital e EVA	janeiro	fevereiro	março	outubro	novembro	dezembro	Acumulado 2007
NOPAT							NOPAT
<b>Receita operacional</b>	<b>1.320.838</b>	<b>1.132.803</b>	<b>1.330.987</b>	<b>1.267.154</b>	<b>2.065.119</b>	<b>1.809.866</b>	<b>17.478.240</b>
Preço (R\$ / m3)	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350
Impostos e encargos (R\$ / m3)	713	713	713	713	713	713	713
Volume Vendido (m3 )	2.074	1.779	2.090	1.990	3.243	2.842	2.287
<b>Custo do produto</b>	<b>1.248.236</b>	<b>1.070.536</b>	<b>1.257.827</b>	<b>1.197.503</b>	<b>1.951.607</b>	<b>1.710.384</b>	<b>16.517.520</b>
Custo de oportunidade (R\$ / m3)	602	602	602	602	602	602	602
Volume Vendido (m3 )	2.074	1.779	2.090	1.990	3.243	2.842	27.449
<b>Lucro Bruto</b>	<b>72.602</b>	<b>62.266</b>	<b>73.160</b>	<b>69.651</b>	<b>113.513</b>	<b>99.482</b>	<b>960.720</b>
<b>Custos Operacionais</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Outros	0	0	0	0	0	0	
<b>EBITDA</b>	<b>72.602</b>	<b>62.266</b>	<b>73.160</b>	<b>69.651</b>	<b>113.513</b>	<b>99.482</b>	<b>960.720</b>
<b>Depreciação e Amortização</b>	<b>514</b>	<b>514</b>	<b>514</b>	<b>514</b>	<b>514</b>	<b>514</b>	
Depreciação	514	514	514	514	514	514	
Amortização Propaganda e Marketing	0	0	0	0	0	0	
<b>NOPBT</b>	<b>72.088</b>	<b>61.752</b>	<b>72.646</b>	<b>69.137</b>	<b>112.998</b>	<b>98.968</b>	<b>954.548</b>
Imposto de Renda e CSSL (34%)	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	
<b>NOPAT</b>	<b>47.578</b>	<b>40.756</b>	<b>47.946</b>	<b>45.630</b>	<b>74.579</b>	<b>65.319</b>	<b>630.002</b>

TABELA 5.8: PLANILHA DE CÁLCULO DO NOPAT PARA A GERÊNCIA DE VENDAS 1

<b>G. Vendas 1</b>							
NOPAT, Capital e EVA	janeiro	fevereiro	março	outubro	novembro	dezembro	Acumulado 2007
<b>NOPAT</b>							<b>NOPAT</b>
<b>Receita operacional</b>	<b>1.164.856</b>	<b>1.080.305</b>	<b>1.269.963</b>	<b>1.262.406</b>	<b>1.369.785</b>	<b>1.548.566</b>	<b>14.783.878</b>
Preço (R\$ / m3)	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077
Impostos e encargos (R\$ / m3)	706	706	706	706	706	706	706
Volume Vendido (m3 )	850	788	927	921	999	1.130	899
<b>Custo do produto</b>	<b>1.012.294</b>	<b>938.817</b>	<b>1.103.635</b>	<b>1.097.067</b>	<b>1.190.383</b>	<b>1.345.749</b>	<b>12.847.618</b>
Custo de aquisição (R\$ / m3)	1.191	1.191	1.191	1.191	1.191	1.191	1.191
Volume Vendido (m3 )	850	788	927	921	999	1.130	10.787
<b>Lucro Bruto</b>	<b>152.562</b>	<b>141.489</b>	<b>166.328</b>	<b>165.339</b>	<b>179.402</b>	<b>202.817</b>	<b>1.936.260</b>
<b>Custos Operacionais</b>	<b>81.166</b>	<b>71.186</b>	<b>78.390</b>	<b>77.496</b>	<b>96.953</b>	<b>94.295</b>	<b>966.698</b>
Despesas de Movimentação de Produtos	28.617	24.264	26.305	25.625	39.137	32.123	350.834
Frete sobre Fornecimento	52.549	46.922	52.085	51.871	57.816	62.171	615.864
<b>EBITDA</b>	<b>71.397</b>	<b>70.303</b>	<b>87.939</b>	<b>87.843</b>	<b>82.449</b>	<b>108.523</b>	<b>969.562</b>
<b>Depreciação e Amortização</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>2.291</b>
Depreciação	191	191	191	191	191	191	191
Amortização Propaganda e Marketing	0	0	0	0	0	0	0
<b>HOPBT</b>	<b>71.206</b>	<b>70.112</b>	<b>87.748</b>	<b>87.652</b>	<b>82.258</b>	<b>108.332</b>	<b>967.271</b>
Imposto de Renda e CSSL (34%)	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
<b>NOPAT</b>	<b>46.996</b>	<b>46.274</b>	<b>57.914</b>	<b>57.850</b>	<b>54.290</b>	<b>71.499</b>	<b>638.399</b>

### O CUSTO DE CAPITAL E O CAPITAL INVESTIDO

Os custos de capital (WACC) das duas empresas, para simplificar, serão iguais a 12% a.a. (ou simplificando ainda mais, 1% a.m.). Os principais investimentos a serem considerados nos estudos de avaliação da cadeia são os seguintes:

- Capital de giro: estoques, dos componentes e do combustível especial;
- Ativos de longo prazo: investimento em tancagem (para tanques novos); custo de oportunidade de aluguel (para tanques existentes com investimentos afundados); e investimentos nas baias (bicos de injeção) para carga e descarga de caminhões <sup>14</sup>;

A Tabela 5.9 apresenta a planilha de cálculo do Capital para a refinaria 1 e a Tabela 5.10, para a Gerência de Vendas 1.

No Apêndice B.2, são apresentados os cálculos dos estoques e no Apêndice B.3, os cálculos para novos investimentos em bicos de enchimento.

Como estas planilhas referem-se ao cenário base, os investimentos em bicos de enchimento são nulos. Na tabela do Apêndice B.3, adicionou-se 1 bico no terminal C a fim de ilustrar como é calculado e distribuído esse tipo de investimento pelas gerências de vendas da distribuidora.

<sup>14</sup> Neste estudo do Cenário Base, todos os tanques já existiam, portanto o investimento em tancagem corresponde ao custo de oportunidade do aluguel. É o que, na literatura, se chama de "ativação" do aluguel.

TABELA 5.9: PLANILHA DE CÁLCULO DO CAPITAL INVESTIDO PARA A REFINARIA 1

<b>Refinaria 1</b>							
<b>NOPAT, Capital e EVA</b>	<b>janeiro</b>	<b>fevereiro</b>	<b>março</b>	<b>outubro</b>	<b>novembro</b>	<b>dezembro</b>	<b>Acumulado 2007</b>
<b>Capital</b>							<b>Capital</b>
<b>Ativo Circulante (A)</b>	<b>1.824.520</b>	<b>2.085.532</b>	<b>2.179.625</b>	<b>2.056.735</b>	<b>1.985.431</b>	<b>1.855.092</b>	<b>2.025.309</b>
Disponibilidades	0	0	0	0	0	0	0
Contas a Receber	132.084	113.280	133.099	126.715	206.512	180.987	145.652
Estoques	1.692.437	1.972.251	2.046.527	1.930.020	1.778.920	1.674.106	1.879.657
Impostos e Taxas a recuperar	0	0	0	0	0	0	0
Outros	0	0	0	0	0	0	0
<b>Passivo Circulante (B)</b>	<b>623.785</b>	<b>579.021</b>	<b>654.872</b>	<b>628.729</b>	<b>989.444</b>	<b>869.908</b>	<b>706.795</b>
Contas a Pagar	81.137	113.624	108.054	108.136	141.018	126.349	108.404
Impostos e Contribuições a Recolher	542.648	465.396	546.818	520.593	848.426	743.559	598.391
Outros	0	0	0	0	0	0	0
<b>Capital de Giro Líquido (A - B)</b>	<b>1.200.736</b>	<b>1.506.511</b>	<b>1.524.754</b>	<b>1.428.006</b>	<b>995.987</b>	<b>985.184</b>	<b>1.318.514</b>
<b>Ativo de Longo Prazo</b>	<b>61.206</b>	<b>60.692</b>	<b>60.178</b>	<b>56.577</b>	<b>56.063</b>	<b>55.549</b>	<b>58.378</b>
Imobilizado Líquido	61.206	60.692	60.178	56.577	56.063	55.549	58.378
Investimentos (Tangagem)	61.721	61.721	61.721	61.721	61.721	61.721	61.721
Baixas (bicos)	0	0	0	0	0	0	0
Depreciação (10 anos)	514	514	514	514	514	514	514
Depreciação Acumulada	514	1.029	1.543	5.143	5.658	6.172	3.343
Outros	0	0	0	0	0	0	0
<b>Capital</b>	<b>1.261.942</b>	<b>1.567.203</b>	<b>1.584.932</b>	<b>1.484.584</b>	<b>1.052.050</b>	<b>1.040.733</b>	<b>1.376.892</b>

TABELA 5.10: PLANILHA DE CÁLCULO DO CAPITAL INVESTIDO PARA A GERÊNCIA DE VENDAS 1

<b>G. Vendas 1</b>							
<b>NOPAT, Capital e EVA</b>	<b>janeiro</b>	<b>fevereiro</b>	<b>março</b>	<b>outubro</b>	<b>novembro</b>	<b>dezembro</b>	<b>Acumulado 2007</b>
<b>Capital</b>							<b>Capital</b>
<b>Ativo Circulante (A)</b>	<b>746.159</b>	<b>588.698</b>	<b>561.186</b>	<b>715.200</b>	<b>859.372</b>	<b>849.086</b>	<b>639.275</b>
Disponibilidades	0	0	0	0	0	0	0
Contas a Receber	116.486	108.031	126.996	126.241	136.979	154.857	123.199
Estoques	629.674	480.668	434.189	588.959	722.394	694.230	516.076
Impostos e Taxas a recuperar	0	0	0	0	0	0	0
Outros	0	0	0	0	0	0	0
<b>Passivo Circulante (B)</b>	<b>11.455</b>	<b>(14.805)</b>	<b>(4.553)</b>	<b>4.045</b>	<b>13.439</b>	<b>(2.721)</b>	<b>1.580</b>
Contas a Pagar	11.455	(14.805)	(4.553)	4.045	13.439	(2.721)	1.580
Impostos e Contribuições a Recolher (Pis/F)	0	0	0	0	0	0	0
Outros	0	0	0	0	0	0	0
<b>Capital de Giro Líquido (A - B)</b>	<b>734.704</b>	<b>603.504</b>	<b>565.738</b>	<b>711.155</b>	<b>845.933</b>	<b>851.807</b>	<b>637.695</b>
<b>Ativo de Longo Prazo</b>	<b>22.715</b>	<b>22.524</b>	<b>22.333</b>	<b>20.997</b>	<b>20.806</b>	<b>20.616</b>	<b>21.665</b>
Imobilizado Líquido	22.715	22.524	22.333	20.997	20.806	20.616	21.665
Investimentos (Tangagem)	22.906	22.906	22.906	22.906	22.906	22.906	22.906
Baixas (bicos)	0	0	0	0	0	0	0
Depreciação (10 anos)	191	191	191	191	191	191	191
Depreciação Acumulada	191	382	573	1.909	2.100	2.291	1.241
Outros	0	0	0	0	0	0	0
<b>Capital</b>	<b>757.419</b>	<b>626.028</b>	<b>588.072</b>	<b>732.152</b>	<b>866.740</b>	<b>872.423</b>	<b>659.360</b>

### CÁLCULO DO EVA

De posse do NOPAT, do Capital Empregado e do Custo de Capital, calcula-se, então, O EVA. Como apresentado na Tabela 5.11 e na Tabela 5.12, o EVA pode ser calculado pelo método do Lucro Residual ou pelo método Spread.

TABELA 5.11: PLANILHA DE CÁLCULO DO EVA PARA A REFINARIA 1

<b>Refinaria 1</b>							
<b>NOPAT, Capital e EVA</b>	<b>janeiro</b>	<b>fevereiro</b>	<b>março</b>	<b>outubro</b>	<b>novembro</b>	<b>dezembro</b>	<b>Acumulado 2007</b>
<b>EVA</b>							<b>EVA</b>
<b>NOPAT</b>	<b>47.578</b>	<b>40.756</b>	<b>47.946</b>	<b>45.630</b>	<b>74.579</b>	<b>65.319</b>	<b>630.002</b>
Capital Empregado	1.261.942	1.567.203	1.584.932	1.484.584	1.052.050	1.040.733	16.522.698
WACC	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
<b>Encargo de Capital</b>	<b>12.619</b>	<b>15.672</b>	<b>15.849</b>	<b>14.846</b>	<b>10.521</b>	<b>10.407</b>	<b>165.227</b>
<b>EVA - Lucro Residual</b>	<b>34.958</b>	<b>25.084</b>	<b>32.097</b>	<b>30.784</b>	<b>64.058</b>	<b>54.911</b>	<b>464.775</b>
Retorno sobre Capital	3,8%	2,6%	3,0%	3,1%	7,1%	6,3%	3,8%
WACC	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
Spread EVA	2,8%	1,6%	2,0%	2,1%	6,1%	5,3%	2,8%
x Capital Investido	1.261.942	1.567.203	1.584.932	1.484.584	1.052.050	1.040.733	16.522.698
<b>EVA - Método Spread</b>	<b>34.958</b>	<b>25.084</b>	<b>32.097</b>	<b>30.784</b>	<b>64.058</b>	<b>54.911</b>	<b>464.775</b>

TABELA 5.12: PLANILHA DE CÁLCULO DO EVA PARA A GERÊNCIA DE VENDAS 1

<b>G. Vendas 1</b>							
<b>NOPAT, Capital e EVA</b>	<b>janeiro</b>	<b>fevereiro</b>	<b>março</b>	<b>outubro</b>	<b>novembro</b>	<b>dezembro</b>	<b>Acumulado 2007</b>
<b>EVA</b>							<b>EVA</b>
<b>NOPAT</b>	<b>46.996</b>	<b>46.274</b>	<b>57.914</b>	<b>57.850</b>	<b>54.290</b>	<b>71.499</b>	<b>638.399</b>
Capital Empregado	757.419	626.028	588.072	732.152	866.740	872.423	7.912.324
WACC	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
<b>Encargo de Capital</b>	<b>7.574</b>	<b>6.260</b>	<b>5.881</b>	<b>7.322</b>	<b>8.667</b>	<b>8.724</b>	<b>79.123</b>
<b>EVA - Lucro Residual</b>	<b>39.422</b>	<b>40.014</b>	<b>52.033</b>	<b>50.529</b>	<b>45.623</b>	<b>62.775</b>	<b>559.276</b>
Retorno sobre Capital	6,2%	7,4%	9,8%	7,9%	6,3%	8,2%	8,1%
WACC	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
Spread EVA	5,2%	6,4%	8,8%	6,9%	5,3%	7,2%	7,1%
x Capital Investido	757.419	626.028	588.072	732.152	866.740	872.423	7.912.324
<b>EVA - Método Spread</b>	<b>39.422</b>	<b>40.014</b>	<b>52.033</b>	<b>50.529</b>	<b>45.623</b>	<b>62.775</b>	<b>559.276</b>

### RESUMO DOS RESULTADOS DA CADEIA DE SUPRIMENTO

A Tabela 5.13 mostra um resumo dos resultados consolidados da cadeia de suprimento do combustível especial para o período de simulação, um ano .

TABELA 5.13: EVA – RESUMO DOS RESULTADOS DA CADEIA DE SUPRIMENTO

<b>Combustível Especial - NOPAT, Capital e EVA (R\$)</b>								
	<b>Refinaria 1</b>	<b>Refinaria 2</b>	<b>Acumulado Empresa</b>	<b>G. Vendas 1</b>	<b>G. Vendas 2</b>	<b>G. Vendas 3</b>	<b>Acumulado Distribuidora</b>	<b>Acumulado Total</b>
<b>Margem Líquida Média (R\$/m3)</b>	23	29	25	59	40	73	54	79
<b>Volume Médio (m3)</b>	2.287	857	3.145	899	1.917	1.183	3.999	-
<b>NOPAT (somatório realizado)</b>	630.002	297.363	927.365	638.399	920.393	1.033.237	2.592.029	3.519.394
<b>Capital (média mensal)</b>	1.376.892	335.160	1.712.052	659.360	1.354.854	1.818.426	3.832.641	5.544.692
<b>EVA (somatório realizado)</b>	464.775	257.144	721.918	559.276	757.811	815.026	2.132.112	2.854.031

Observando os resultados, é possível notar que a maior parte do valor econômico adicionado na cadeia de suprimento, no cenário estudado, acontece na

distribuidora. Isso se deve principalmente às margens da distribuidora serem bem maiores que as margens da empresa produtora. Quando se compara o NOPAT e o Capital das duas empresas, verifica-se a diferença de NOPAT é maior que a diferença de capital, o que significa que os investimentos da distribuidora estão gerando mais valor que os investimentos da empresa produtora.

## CAPÍTULO 6

### 6 OTIMIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO

A utilização da simulação computacional como ferramenta de análise e tomada de decisão demanda a realização de diversos experimentos, onde as premissas e os parâmetros de entrada do modelo são modificados a fim de representar os cenários desejados. Porém, os modelos podem apresentar uma quantidade muito grande de combinações possíveis para determinados parâmetros.

É o caso, por exemplo, da variação do número de bicos para carga e descarga de caminhões nas refinarias e terminais de distribuição: há em toda cadeia 9 locais onde ocorrem carga e descarga de caminhões em que se pode aumentar o número de bicos de enchimento<sup>15</sup>; os modelos foram preparados para permitir até 4 bicos em cada um desses locais; portanto, a quantidade de experimentos possíveis envolvendo o investimento em bicos para carga/descarga simultânea de caminhões é de 4 elevado a 9, ou seja, 262.144 combinações. É lógico que a maior parte dessas combinações são descartadas pelo conhecimento prévio de determinadas características do sistema estudado: a demanda histórica pelos produtos em cada local, restrições locais de espaço e de recursos, impossibilidade técnica, etc. Mas, mesmo assim, ainda há uma quantidade considerável de possibilidades factíveis, portanto, é necessário “automatizar” a busca por soluções viáveis.

Hoje, com a crescente capacidade de processamento dos computadores pessoais, é possível construir e/ou utilizar ambientes com o objetivo de otimizar sistemas mais complexos. Os modelos de otimização não precisam mais ser tão simplificados a ponto de descaracterizar o sistema. Ao contrário, como afirma FREITAS FILHO, 2001, “pode-se empregar ambientes voltados à modelagem e à simulação de sistemas, como o Arena, que permitem um altíssimo grau de fidelidade aos detalhes dos sistemas e, sobre este modelo, empregar modernas técnicas de

---

<sup>15</sup> Dos 11 locais onde ocorrem carga e descarga de caminhões (vide Tabela 4.8), 2 são imediatamente descartados: o Terminal B, que pertence a terceiros, e o recebimento do componente 2 no Terminal A, por inviabilidade técnica.

otimização na busca de soluções ótimas e viáveis considerando as inúmeras combinações de parâmetros”.

O Arena traz integrada a ferramenta de otimização *OptQuest for Arena*, que é instalada como uma das ferramentas disponíveis (um *Add-in*), da mesma forma que acontece com o *Input Analyzer*.

O OptQuest foi criado pela OptTek Systems, Inc <sup>16</sup>, que mantém em seu *site* na Internet uma relação de artigos, próprios e de terceiros, relacionados à otimização. Em um de seus artigos, APRIL *et al.*, 2003, os criadores do software apresentam uma introdução prática aos conceitos da otimização a partir de modelos de simulação, chamada por eles de *simulation optimization* ou, em português, “otimização da simulação”.

Segundo, APRIL *et al.*, 2003, a otimização de modelos de simulação trata da situação em que o analista gostaria de encontrar qual dentre todas as especificações possíveis do modelo (as premissas estruturais e os parâmetros de entrada) conduzem ao melhor desempenho.

## 6.1 A abordagem meta-heurística

Para APRIL *et al.*, 2003, a abordagem meta-heurística utilizada na otimização da simulação é baseada na visão do modelo de simulação como uma caixa-preta que recebe os parâmetros de entrada e gera um conjunto de respostas associadas, como mostra a Figura 6.1. Nesta aproximação, o otimizador meta-heurístico escolhe um conjunto de valores para os parâmetros de entrada (isto é, para os fatores ou variáveis de decisão) e usa as respostas geradas pelo modelo de simulação para decidir sobre a solução experimental seguinte.

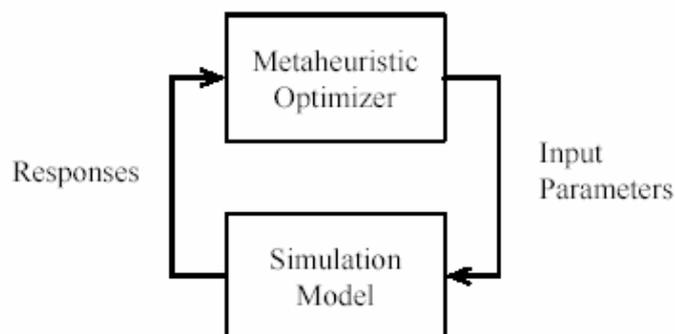


FIGURA 6.1: ABORDAGEM CAIXA-PRETA PARA A OTIMIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO

Fonte: APRIL *et al.*, 2003

<sup>16</sup> <http://www.opttek.com>

Segundo os autores, a maioria das ferramentas de otimização implantadas nos softwares comerciais de simulação é baseada em aproximações evolucionárias.

Esta abordagem procura o espaço solução construindo e, então, expandindo uma população de soluções. A evolução é conseguida por meio de mecanismos que criam novas soluções experimentais a partir da combinação de duas ou mais soluções que se encontram na população vigente. A transformação de uma única solução em uma solução experimental nova também é considerada nestas aproximações.

Exemplos de aproximações evolucionárias utilizadas em softwares comerciais são mostrados na Tabela 6.1.

TABELA 6.1: IMPLEMENTAÇÕES COMERCIAIS DE META-HEURÍSTICAS BASEADAS EM APROXIMAÇÕES EVOLUCIONÁRIAS EM SOFTWARES DE SIMULAÇÃO

Optimizer	Technology	Simulation Software
OptQuest	Scatter Search	AnyLogic Arena Crystal Ball CISM18 Enterprise Dynamics Micro Saint ProModel Quest SimFlex SIMPROCESS SIMUL8 TERAS
Evolutionary Optimizer	Genetic Algorithms	Extend
Evolver	Genetic Algorithms	@Risk

Fonte: APRIL *et al.*, 2003

A principal vantagem das aproximações evolucionárias é que elas são baseadas na verificação da vizinhança de uma única solução (por exemplo, *simulated annealing*), capaz de explorar uma área maior do espaço solução com um número reduzido de estimativas da função objetivo. No contexto da otimização da simulação, estimar valores para a função objetivo envolve a corrida do modelo de simulação, onde a busca rápida por soluções de qualidade é um fator crítico. Um procedimento baseado na exploração de vizinhanças é eficaz quando o ponto de partida é “próximo” das soluções de boa qualidade e quando essas soluções puderem ser alcançadas pelo mecanismo de busca que define a vizinhança.

### 6.1.1 A meta-heurística do OptQuest: Scatter Search

O texto desta seção foi baseado no tópico “A metodologia OptQuest” do Guia do Usuário do *OptQuest for Arena* e nos artigos “Principles of Scatter Search” (MARTI *et al.*, 2006) e “Scatter Search and Star-Paths: Beyond the Genetic Metaphor” (GLOVER, 1995).

Os Algoritmos Genéticos e a Busca Tabu são duas das meta-heurísticas mais conhecidas atualmente. Os procedimentos dos Algoritmos Genéticos foram desenvolvidos por John Holland no princípio dos anos 70 na Universidade de Michigan. Paralelamente, Fred Glover da OptTek Systems, Inc. estabeleceu os princípios básicos e as regras operacionais para a Busca Tabu e uma metodologia relacionada conhecida como *Scatter Search* ou, em português, Busca Dispersa .

A Busca Dispersa tem alguns atributos interessantes comuns às idéias dos Algoritmos Genéticos, embora apresente também características completamente distintas. A Busca Dispersa opera sobre um conjunto de pontos, os chamados pontos de referência, em busca de boas soluções. A abordagem gera sistematicamente combinações lineares dos pontos de referência para criar novos pontos, que vão produzir valores inteiros associados para variáveis discretas. A Busca Tabu é sobreposta então para controlar a composição dos pontos de referência em cada estágio.

A Busca Tabu tem suas raízes no campo da inteligência artificial. A memória é um conceito fundamental na Busca Tabu, que utiliza a história da busca para guiar o processo. Na sua forma mais simples, a memória proíbe re-investigar soluções que já tenham sido avaliadas. Entretanto, o uso da memória no OptQuest, segundo o Guia do Usuário do OptQuest for Arena, é mais complexo, ele usa funções de memória para incentivar a diversificação e a intensificação da busca. Estes componentes de memória permitem que a pesquisa saia da busca por soluções ótimas locais para encontrar uma solução ótima global.

As similaridades entre a Busca Dispersa e as propostas originais dos Algoritmos Genéticos são evidentes. Ambas são aproximações “baseadas em população”. Ambos também incorporam a produção de novos elementos a partir da combinação de elementos existentes. Por outro lado, diversos contrastes entre estes métodos também podem ser notados. As primeiras aproximações dos Algoritmos Genéticos escolhem os pais de forma aleatória para produzir os filhos, e também utiliza a aleatoriedade para determinar que componentes dos pais serão combinados.

Em contrapartida, a Busca Dispersa não se utiliza da aleatoriedade para ficar indiferente à escolha entre as alternativas. Como na busca Tabu probabilística, ela incorpora vieses probabilísticos estratégicos, levando em conta evolução e história. A Busca Dispersa concentra-se na geração de resultados relevantes e ainda pode produzir soluções diversas, devido à forma como o processo de geração é implementado (combinações lineares aproximadas). Em particular, a Busca Dispersa considera que a geração de novos pontos precisa conter informações que não existiam nos pontos originais.

A Busca Dispersa é, portanto, uma abordagem *dirigida por informação*, que explora o conhecimento derivado do espaço de pesquisa, descrevendo, todo o tempo, trajetórias através do espaço em busca por soluções de boa qualidade. A combinação destes fatores cria um processo de solução altamente efetivo.

## 6.2 Como funciona o processo de otimização

O primeiro passo é abrir no Arena o modelo de simulação sobre o qual se deseja iniciar o processo de otimização (como será visto mais a frente, este modelo deve ser previamente preparado). Em seguida, aciona-se a ferramenta de otimização OptQuest no menu *Tools* do Arena (vide Figura 6.2). Quando o otimizador é iniciado, ele verifica o modelo de simulação e carrega suas informações em uma base de dados própria. O usuário procede, então, a definição do problema de otimização usando a interface da ferramenta.

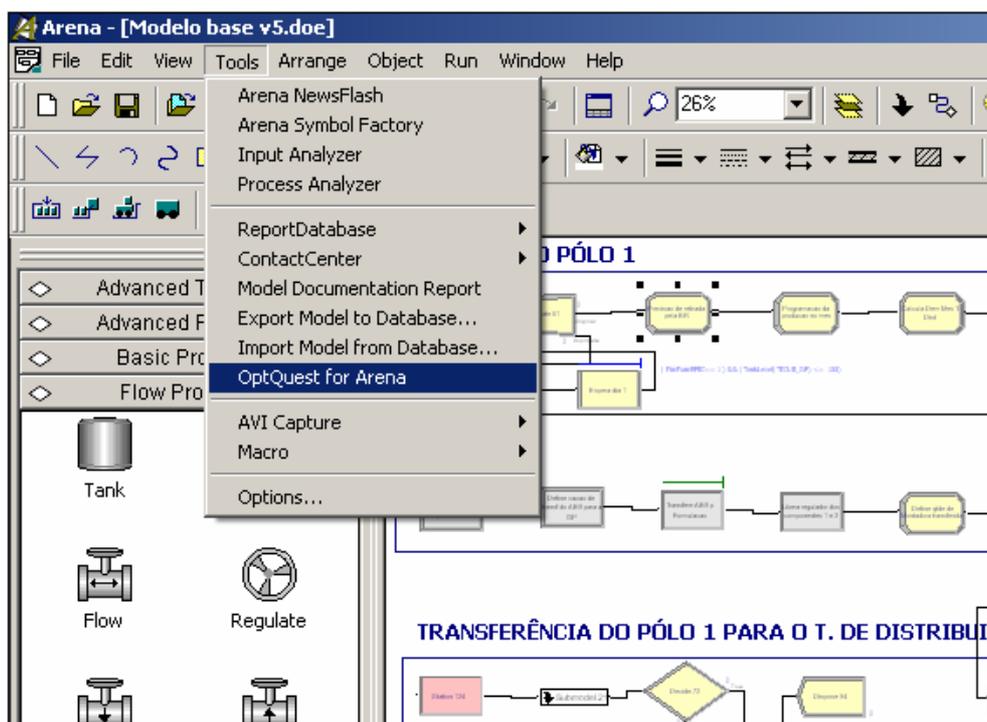


FIGURA 6.2: ACIONAMENTO DO OPTQUEST A PARTIR DO ARENA

O otimizador possui três elementos fundamentais para a definição do problema de otimização:

- Controles: são os parâmetros (variáveis e/ou recursos) do modelo de simulação que serão controlados a fim de verificar que efeitos estes exercem sobre o desempenho do sistema;
- Restrições: são os limites – relações entre as variáveis de controle e/ou as variáveis de respostas do modelo – que restringem o espaço solução a ser investigado;
- Objetivos: são as funções objetivo, definidas sobre as variáveis de resposta escolhidas pelo usuário.

Durante o processo de otimização:

1. O otimizador alimenta uma solução potencial no modelo de simulação ajustando os valores de controle.

2. O simulador roda a simulação para avaliar a solução potencial.

3. O otimizador verifica os valores das variáveis de resposta resultantes da corrida de simulação.

4. Se otimizador for ajustado para múltiplas replicações por simulação, ele:

- Instrui o simulador para rodar cada replicação com a mesma solução (mesmo conjunto de valores para os *controles*).
- Verifica os valores de resposta.
- Repete este ciclo até que o número especificado de replicações tenha sido rodado.
- Calcula a média dos valores de resposta obtidos para o conjunto de replicações. Este conjunto de replicações representa uma simulação.

5. O otimizador analisa os resultados da simulação e usa seus procedimentos de busca inteligente (meta-heurística) para gerar uma nova solução potencial, que é então enviada ao simulador.

Este processo se repete para múltiplas simulações. O objetivo final é encontrar a solução que otimize (maximize ou minimize) o valor da função objetivo definida para o problema.

Uma vez que o otimizador seja interrompido, os *controles* definidos para o modelo de simulação retornam aos seus valores originais. O modelo de simulação não é afetado pelo otimizador.

### **6.3 Preparo do modelo de simulação para a otimização**

O OptQuest trabalha em conjunto com o Arena, por isso, antes de tudo, o modelo de simulação do Arena precisa ser preparado para ser utilizado no processo de otimização do OptQuest. Alguns cuidados precisam ser tomados com relação ao modelo de simulação a fim de assegurar que qualquer automação ou controle lógico esteja adequadamente configurado para rodar com o OptQuest.

Como foi dito antes, na formulação do problema de otimização deve-se definir os *controles*, isto é, as variáveis e/ou os recursos do modelo de simulação que serão controlados no processo de otimização para verificar os seus efeitos sobre os resultados do sistema. Se o modelo Arena tiver domínio sobre os valores destes controles, isto pode interferir no processo de otimização. Por exemplo, nos modelos de simulação desenvolvidos para este trabalho de dissertação, algumas variáveis são definidas no início de cada corrida de simulação assumindo valores lidos de um arquivo de entrada (vide 4.4.2 *Parâmetros de entrada do modelo*). Se alguma destas variáveis for utilizada como *controle* no processo de otimização, o seu valor não poderá mais ser lido automaticamente do arquivo de entrada. Um valor inicial para a variável deverá ser definido diretamente no modelo de simulação; e, no processo de otimização, os valores passam a ser controlados pelo otimizador.

Já a *função objetivo* e as *restrições* vão depender das saídas da simulação, e portanto, estarão relacionadas com respostas definidas no modelo de simulação, tais como: registros, saídas (p. e., volume adicionado em tanque), estatísticas, contadores e variáveis. Mais uma vez, alguns cuidados precisam ser tomados. Alguns indicadores utilizados para avaliar o desempenho da cadeia de suprimento do combustível especial são calculados no arquivo de saída, Relatório.xls, a partir de valores exportados ao final da corrida de simulação (vide *Capítulo 5 Avaliação de Desempenho*). Caso, por exemplo, se queira maximizar o EVA Total da cadeia de suprimento, o seu valor, que é calculado no arquivo de saída ao final de cada corrida

de simulação, deve ser lido e guardado em uma variável do modelo de simulação para ser utilizado no otimizador como função objetivo.

De fato, isto foi feito. Como será visto mais a frente, em um dos experimentos realizados, a função objetivo é maximizar o EVA Total.

## 6.4 Preparo da otimização

Em continuidade à descrição do processo de otimização, esta seção descreve o preparo da otimização, isto é, a definição do problema de otimização pelo usuário através da interface apresentada pela ferramenta.

Para facilitar o entendimento, é utilizado um estudo de otimização definido sobre o modelo da configuração atual da cadeia de suprimento para uma demanda média de 6000 m<sup>3</sup>/mês. O estudo consiste em otimizar os investimentos em bicos para carga e descarga de caminhões em diversos pontos da cadeia, visando maximizar o seu desempenho econômico, com um desempenho operacional satisfatório.

O problema pode ser definido da seguinte forma:

- Função Objetivo: Maximizar EVA Total
- Restrições:
  - NS Total  $\geq 97,5\%$
  - NS terminal C  $\geq 95\%$
  - NS terminal D  $\geq 95\%$
  - NS terminal E  $\geq 90\%$
  - NS terminal F  $\geq 95\%$
- Variáveis de controle:
  - Nº. de bicos para carga/descarga de caminhão nas refinarias e nos terminais
- Modelo de simulação:
  - Configuração atual da cadeia com uma demanda média de 6000 m<sup>3</sup>/mês.

O estudo será explicado melhor no próximo capítulo, que trata dos experimentos realizados.

Após ser acionado, o otimizador verifica o modelo de simulação e carrega suas informações em sua própria base de dados. Ele possui uma interface de fácil utilização

através da qual o usuário configura o seu problema de otimização definindo os três elementos básicos apresentados.

## DEFINIÇÃO DOS CONTROLES

O editor de controles mostra uma grade com todas as variáveis e recursos do modelo Arena, permitindo ao usuário selecionar quais serão otimizados. A Figura 6.3 mostra as variáveis de controle selecionadas para o problema acima definido.

Controls Summary									
Includ	Category	Control	Element Type	Type	Low Bound	Suggested Value	High Bound	Step	Description
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	NBaias_Refin_1_Comp_1	Variable	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	NBaias_Refin_2_Comp_1	Variable	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	NBaias_Refin_2_Comp_2	Variable	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	NBaias_Refin_2_PEsp	Variable	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	NBaias_Term_A_PEsp	Variable	Discrete	1	3	4	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	NBaias_Term_C_PEsp	Variable	Discrete	1	2	4	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	NBaias_Term_D_PEsp	Variable	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	NBaias_Term_E_PEsp	Variable	Discrete	1	1	4	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	NBaias_Term_F_PEsp	Variable	Discrete	1	1	2	1	

FIGURA 6.3: DEFINIÇÃO DOS CONTROLES NO OPTQUEST

A seleção dos controles desejados é feita marcando-se a caixa do controle correspondente na coluna *Includ*. Para cada controle selecionado, deve-se definir alguns parâmetros de otimização, que incluem:

- Limites inferior e superior: estes limites vão determinar a faixa de procura pela solução ótima. Quanto mais estreita for essa faixa, menos valores serão testados pelo otimizador. Porém, se os limites forem mal definidos, corre-se o risco de que a melhor solução não seja encontrada.
- Valor sugerido: é o valor a partir do qual o otimizador inicia a busca pela solução ótima.
- Tipo: indica que tipo de valores podem ser assumidos pelo controle: contínuo discreto, inteiro ou binário. Se discreto, é necessário definir também o tamanho do passo, ou seja, a diferença mínima desejada entre os valores de uma iteração e de outra.

Foram selecionadas 9 variáveis que determinam a quantidade máxima de bicos de enchimento em locais onde ocorrem carga e descarga de caminhões.

## DEFINIÇÃO DAS RESPOSTAS

O nó *Responses* da árvore apresentada na interface do otimizador (lado esquerdo da tela), mostra todos os possíveis candidatos a respostas do modelo de

simulação, valores de saída relacionados a: entidades, processos, filas, recursos, tanques, variáveis e atributos definidos pelo usuário, etc.

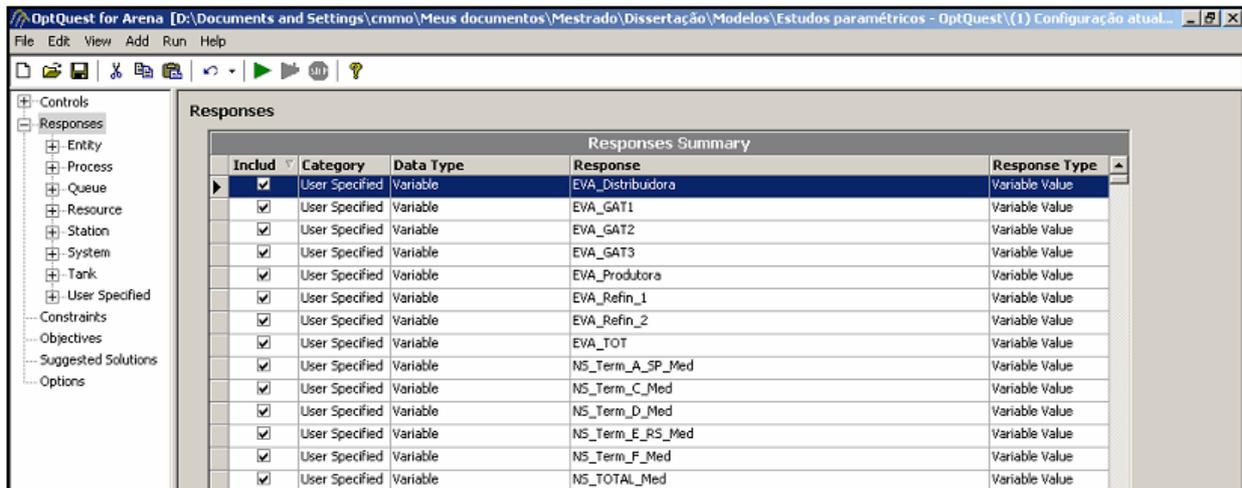


FIGURA 6.4: DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE RESPOSTA NO OPTQUEST

As respostas, normalmente, são utilizadas para criar as restrições ou a função objetivo. Mas também podem ser usadas simplesmente para que se possa verificar alguns resultados ao final do processo de otimização. Com pode ser visto na Figura 6.4, acima, no estudo em questão foram selecionados os níveis de serviço das áreas de influência de cada terminal, o nível de serviço total e os valores detalhados de EVA.

### DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES E DA FUNÇÃO OBJETIVO

Muitos modelos de otimização podem ser formulados sem restrições. Mas a inclusão de restrições apropriadas leva a uma definição mais acurada do problema, aumentando também a eficiência na busca pelas melhores soluções.

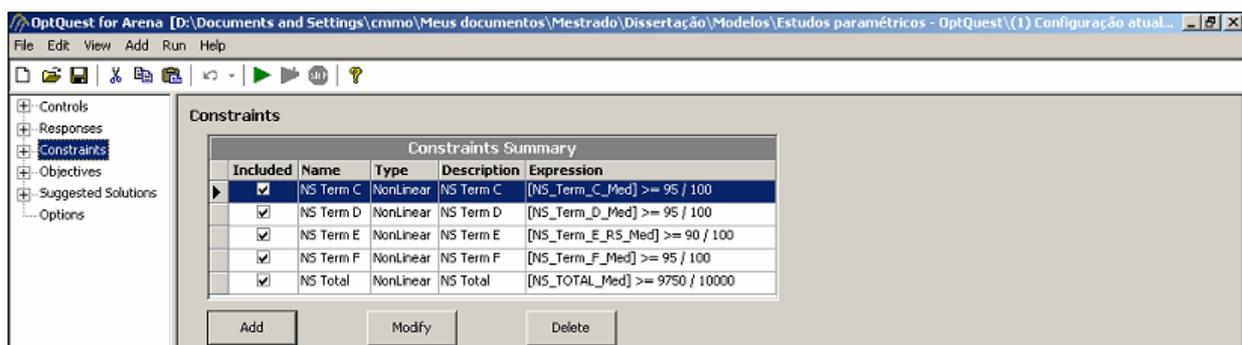


FIGURA 6.5: DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES NO OPTQUEST

O editor de restrições do OptQuest permite que sejam adicionadas restrições lineares ou não lineares envolvendo controles e/ou respostas. A Figura 6.5, acima, mostra as restrições definidas para o problema.

A função objetivo, como o próprio nome diz, é a meta que vai nortear a busca pela solução de melhor qualidade. Como mostra a Figura 6.6, o editor permite a criação de funções envolvendo os controles e as respostas definidas para o problema. Um vez construída a função, deve-se selecionar o objetivo pretendido: maximizar (default) ou minimizar a função.

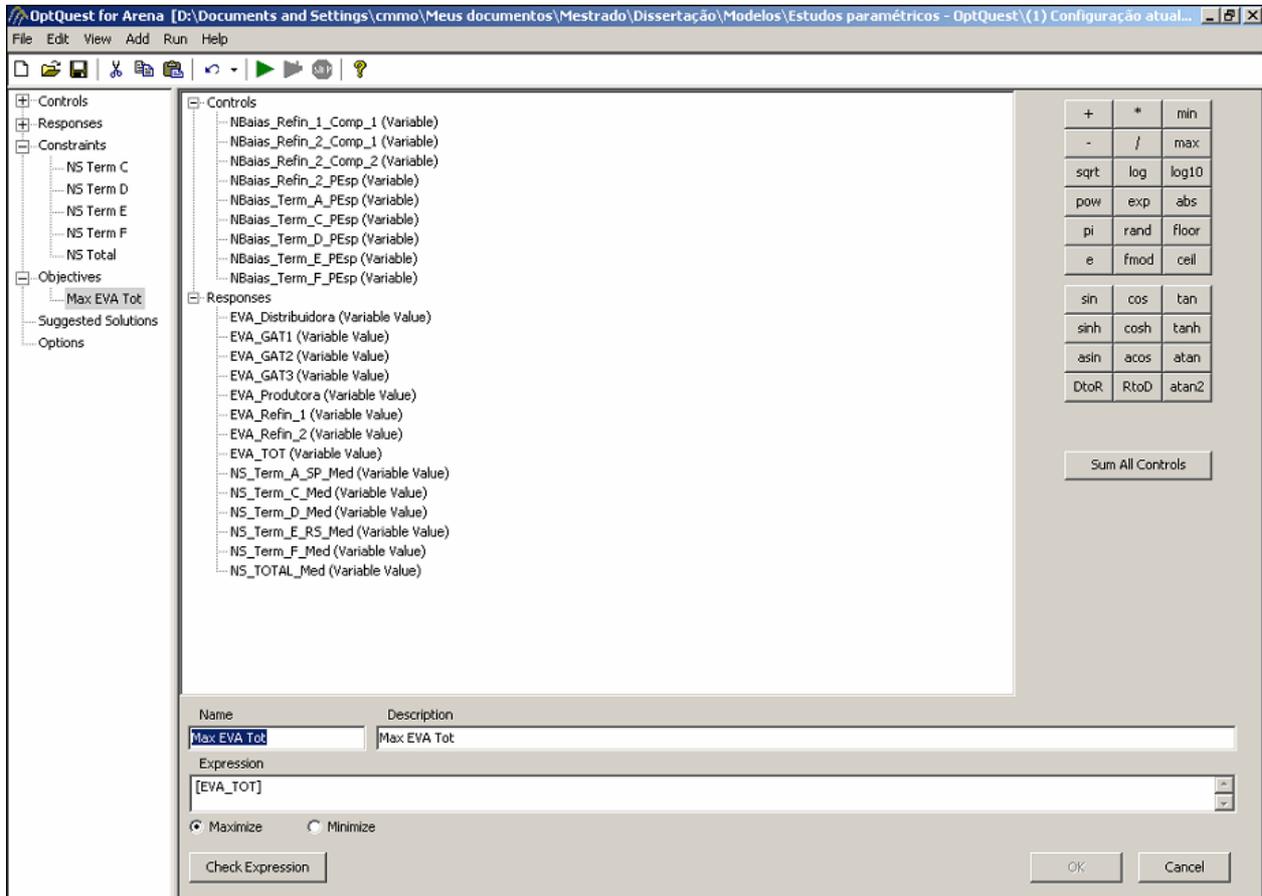


FIGURA 6.6: DEFINIÇÃO DA F. OBJETIVO NO OPTQUEST

### SOLUÇÕES SUGERIDAS

O OptQuest permite ao usuário sugerir soluções ao processo de otimização. Como raramente um problema é otimizado pela busca exaustiva de soluções, esta opção garante que determinadas soluções serão verificadas durante o processo. O usuário pode inserir suas próprias soluções (vide Figura 6.7) ou selecionar soluções a partir de uma otimização prévia, salvando-as como soluções sugeridas.

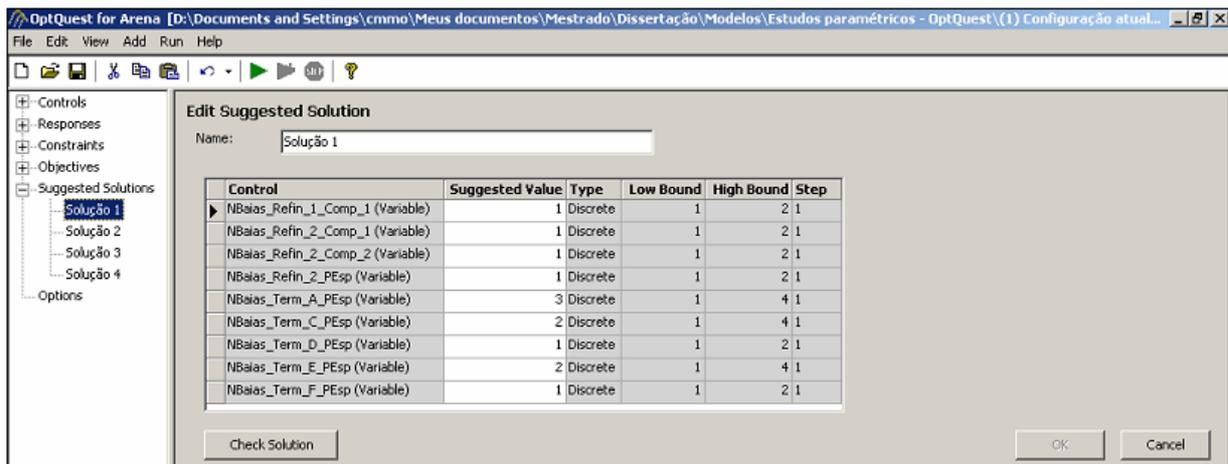


FIGURA 6.7: SOLUÇÕES SUGERIDAS PARA O OPTQUEST

## OPÇÕES

O último passo para a configuração do problema no OptQuest é a definição das opções que vão controlar a corrida de otimização. O editor de opções, como pode ser observado abaixo na Figura 6.8, é dividido em 3 blocos:

- Opções de parada: permite que se controle o tamanho da corrida de otimização. É possível selecionar mais de uma opção de parada: número máximo de simulações, parada manual e parada automática. O processo de otimização é finalizado quando uma das três é satisfeita. Há ainda a opção de rodar apenas as soluções sugeridas.
- Tolerância: este valor é utilizado para determinar quando duas soluções são iguais. O default é 0,0001.
- Replicações por simulação: especifica o número de vezes que o modelo Arena será rodado em cada simulação. Há duas possibilidades: usar um número fixo de replicações ou variar o número de replicações. Quando esta última opção é selecionada, o otimizador utiliza os limites informados pelo usuário para variar o número de replicações; verifica a significância estatística entre as médias da função objetivo da simulação corrente e o melhor valor encontrado em simulações anteriores; e roda o número mínimo de replicações entre os limites sugeridos desde que satisfaça o intervalo de confiança, que também é sugerido pelo usuário.

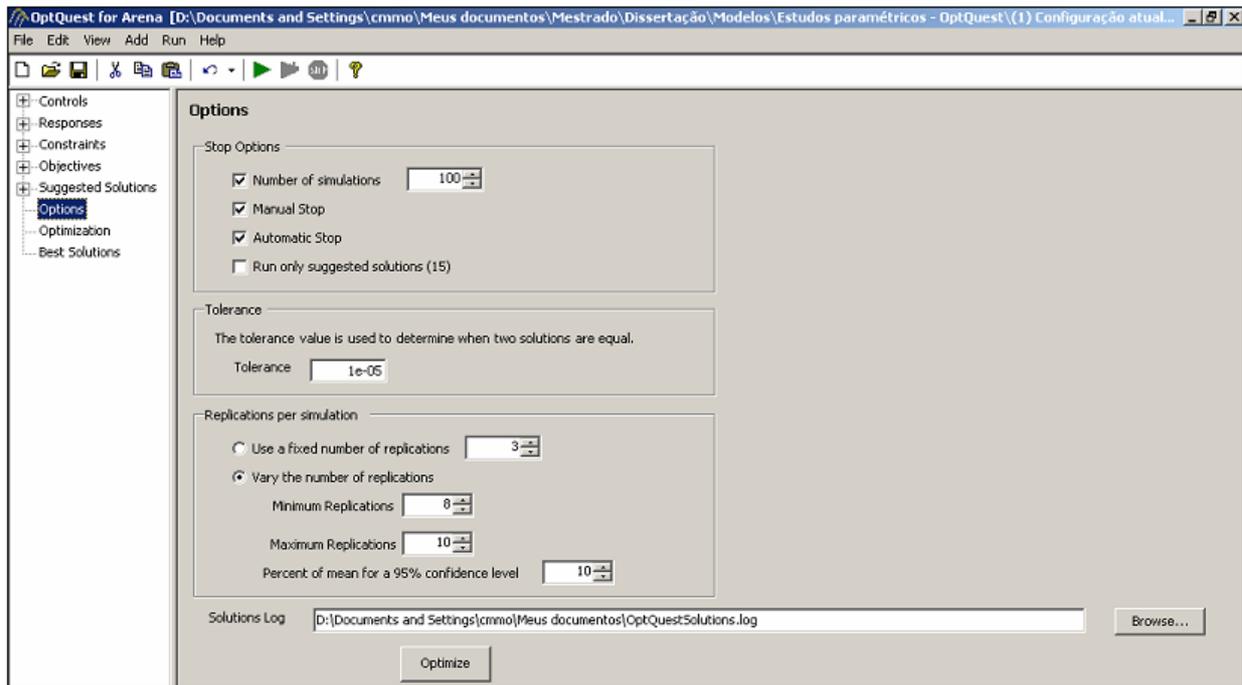


FIGURA 6.8: DEFINIÇÃO DAS OPÇÕES DE OTIMIZAÇÃO DO OPTQUEST

Nos experimentos de otimização realizados, o número mínimo de replicações sugerido foi 8, número de replicações determinado na seção *Parâmetros de otimização*, do capítulo 4.

## 6.5 Execução da otimização

Uma vez que o problema tenha sido definido e parametrizado no OptQuest, a otimização pode ser iniciada. Ao ser iniciado, o otimizador verifica se há erros antes de começar efetivamente o processo de otimização. Estes erros podem ser verificados previamente pelo usuário, eles são mostrados em vermelho ou em amarelo nas planilhas de cada nó da árvore de parâmetros.

Depois de iniciado o processo, um novo nó é acrescentado à árvore: *Optimization*, onde é possível acompanhar o progresso da otimização. A janela de otimização, como mostrado na Figura 6.9, abaixo, contém:

- O status da otimização: o número da simulação corrente, a quantidade de replicações para a simulação corrente, o número da simulação que apresentou o melhor resultado até o momento;
- Um quadro com o valor da função objetivo corrente e seu status e com o valor da melhor solução encontrada e seu status;
- Um quadro com os valores correntes dos controles e com os valores da melhor solução encontrada;

- Um quadro com as restrições e o status atualizado de cada uma delas;
- Um gráfico mostrando a trajetória da busca pela melhor solução: simulação versus função objetivo.

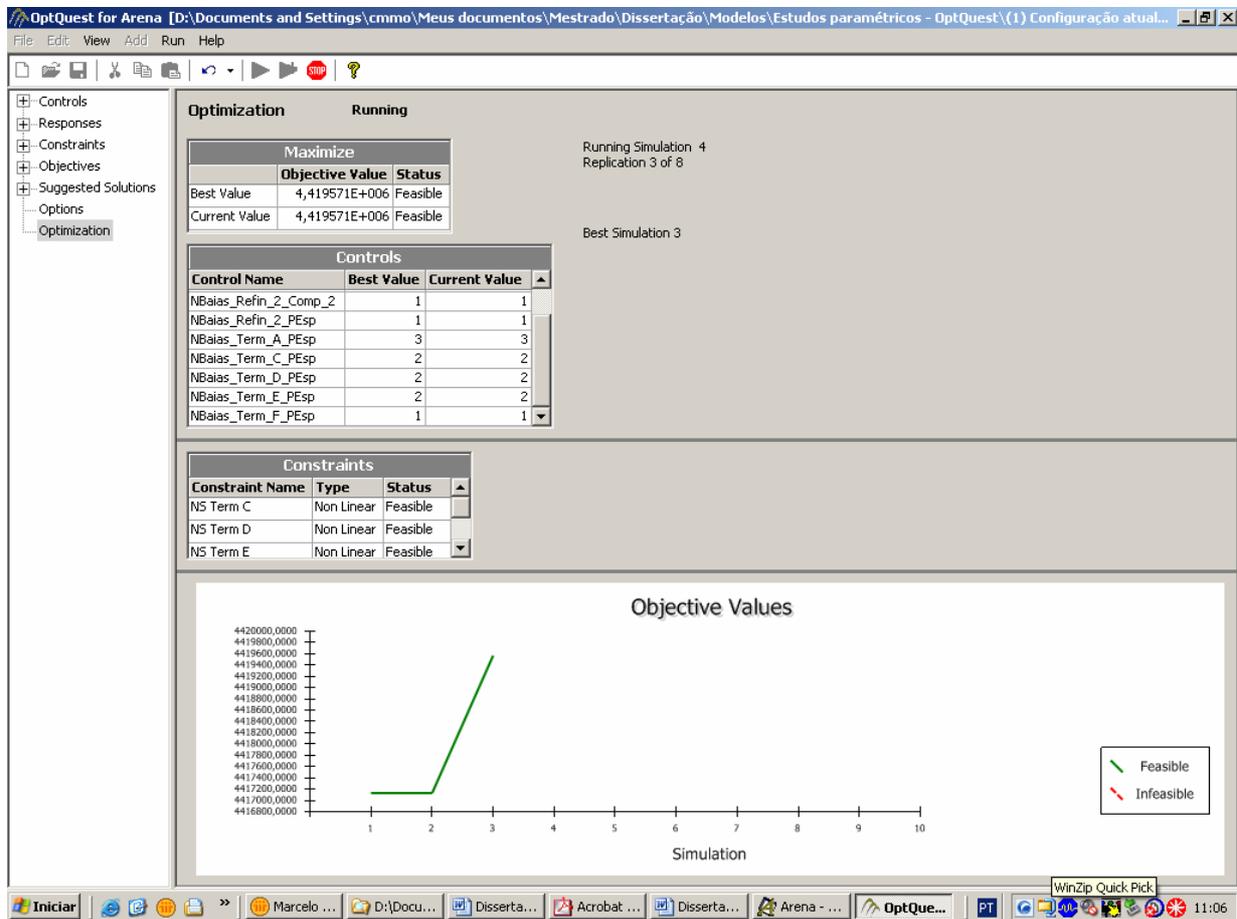


FIGURA 6.9: ANDAMENTO DA OTIMIZAÇÃO NO OPTQUEST

# CAPÍTULO 7

## 7 EXPERIMENTOS

Os experimentos apresentados neste capítulo visam ilustrar a aplicação da metodologia proposta neste trabalho e o potencial da simulação computacional como ferramenta de análise e apoio a decisão nos estudos da cadeia de suprimento do combustível especial.

Os experimentos realizados foram projetados para mostrar a capacidade de atendimento da cadeia, para identificar os gargalos operacionais e de infra-estrutura e para apresentar alternativas aos problemas evidenciados.

São realizados três tipos de estudos:

- (1) Estudos de eficiência logística e econômica da cadeia de suprimento;
- (2) Estudos de capacidade máxima de produção; e
- (3) Estudos paramétricos – otimização dos resultados.

### 7.1 Estudos de eficiência logística e econômica da cadeia de suprimento

Nesta seção, são estudados quatro cenários imaginados para a cadeia de suprimento do combustível especial, segundo os critérios de eficiência logística e econômica apresentados no capítulo 5:

- Retirada do componente 2 da formulação do combustível especial;

Variações do sistema de produção do combustível especial:

- A cadeia de suprimento sem a refinaria 2,
- A cadeia de suprimento sem a refinaria 2 com o projeto de ampliação refinaria 1 (conforme apresentado na seção 4.1 Definição do problema),
- A cadeia de suprimento com os projetos de ampliação das refinarias 1 e 2 (conforme apresentado na seção 4.1 Definição do problema).

Estes 4 cenários são comparados ao cenário base, detalhado nos capítulos 3, 4 e 5.

Além disso, são realizados para cada cenário estudos de sensibilidade da demanda do combustível especial pelos postos de gasolina (combustível especial C) sobre os resultados dos modelos. Nestes estudos, o lote de compra mensal do componente 2 para a refinaria 1 e a previsão para a refinaria 2 são calculados na planilha de entrada a partir da demanda média mensal do combustível especial. Vide Tabela 7.1, a seguir.

### ***7.1.1 Retirada do componente 2 da formulação do combustível especial***

Como explicado, nestes experimentos realiza-se ao mesmo tempo um estudo de sensibilidade de demanda sobre os resultados da cadeia e a avaliação de um novo cenário. Neste estudo, no novo cenário, o componente 2 (componente comprado no mercado) é retirado da formulação do combustível especial.

São estudados, portanto, dois cenários: o Cenário Base e o Cenário sem o componente 2. Para cada cenário, o respectivo modelo de simulação é rodado para uma demanda média do combustível especial de: 4.000, 6.000 e 8.000 m<sup>3</sup>/mês.

A Tabela 7.1 apresenta os principais dados de entrada do Cenário Base. No Cenário sem o componente 2, a diferença está na formulação do combustível especial:

- pólo produtor 1: 100% de produto A;
- pólo produtor 2: componente 1: 25%, componente 3: 50%, componente 4: 25%.

TABELA 7.1: DADOS DE ENTRADA DO CENÁRIO BASE

Compra de Componente 2 para Refinaria 1				
Mês	Quant. (M3)	Fator mês	Fornecedor	Destino
Média mensal	653		Fornecedor 1	Terminal A

Compra de Componente 2 para Refinaria 2				
Mês	Quant. (M3)	Fator mês	Fornecedor	Destino
Média mensal	41		Fornecedor 2	Refinaria 2

Produção Componente 1		Proporção PE / Alcool	
Produção média	450 m3/dia	P. Especial	75%
Demanda outros	7.000 m3/mês	Alcool	25%

Formulação Refinaria 1						
Componentes	Sequência	Proporção	Vazão	Lote	Freq	
Produto A	1	70%	35 m3/h		Programados	
Componente 2	2	30%	35 m3/h		Tempo homogen./certif.	
		100%			96 h	

Formulação Refinaria 2						
Componentes	Sequência	Proporção	Vazão	Lote	Freq	
Componente 3	1	50%	35,0 m3/h		Programados	
Componente 4	2	20%	10,0 m3/h		Especific. Corr. Internas	
Componente 2	3	5%	60,0 m3/h		72 h	
Componente 1	4	25%	60,0 m3/h		Tempo homogen./certif.	
		100%			96 h	

Demanda	P. Especial (m3)	Componente 1	Componente 2
P. Especial	4.000 m3/mês	1.424 m3/mês	694 m3/mês
Refinaria 1	2.900 m3/mês	1.218 m3/mês	653 m3/mês
Refinaria 2	1.100 m3/mês	206 m3/mês	41 m3/mês
<b>Outros Produtos</b>		<b>7.000 m3/mês</b>	
		<b>8.424 m3/mês</b>	<b>694 m3/mês</b>

Uma outra observação importante é que, neste último cenário, o combustível especial fica mais barato (vide Tabela 7.2). Isto tem um impacto positivo no EVA do cenário.

TABELA 7.2: QUADRO COMPARATIVO DO CUSTO DE OPORTUNIDADE ENTRE OS CENÁRIOS

## Cenário sem o Componente 2

Pólo 1	Formulação	Custo de Oportunidade	Pólo 2	Formulação	Custo de Oportunidade
Componente 1	80,0%	450	Componente 1	25,0%	500
Componente 2	0,0%	950	Componente 2	0,0%	900
Componente 5	15,0%	400	Componente 3	50,0%	500
Componente 6	5,0%	650	Componente 4	25,0%	400
<b>Combustível Especial</b>	<b>100,0%</b>	<b>453</b>	<b>Combustível Especial</b>	<b>100,0%</b>	<b>475</b>

## Cenário Base

Pólo 1	Formulação	Custo de Oportunidade	Pólo 2	Formulação	Custo de Oportunidade
Componente 1	56,0%	450	Componente 1	25,0%	500
Componente 2	30,0%	950	Componente 2	5,0%	900
Componente 5	10,5%	400	Componente 3	50,0%	500
Componente 6	3,5%	650	Componente 4	20,0%	400
<b>Combustível Especial</b>	<b>100,0%</b>	<b>602</b>	<b>Combustível Especial</b>	<b>100,0%</b>	<b>500</b>

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Figura 7.1, são apresentados gráficos comparativos de 3 indicadores para os cenários estudados: nível de serviço, custo total e EVA.

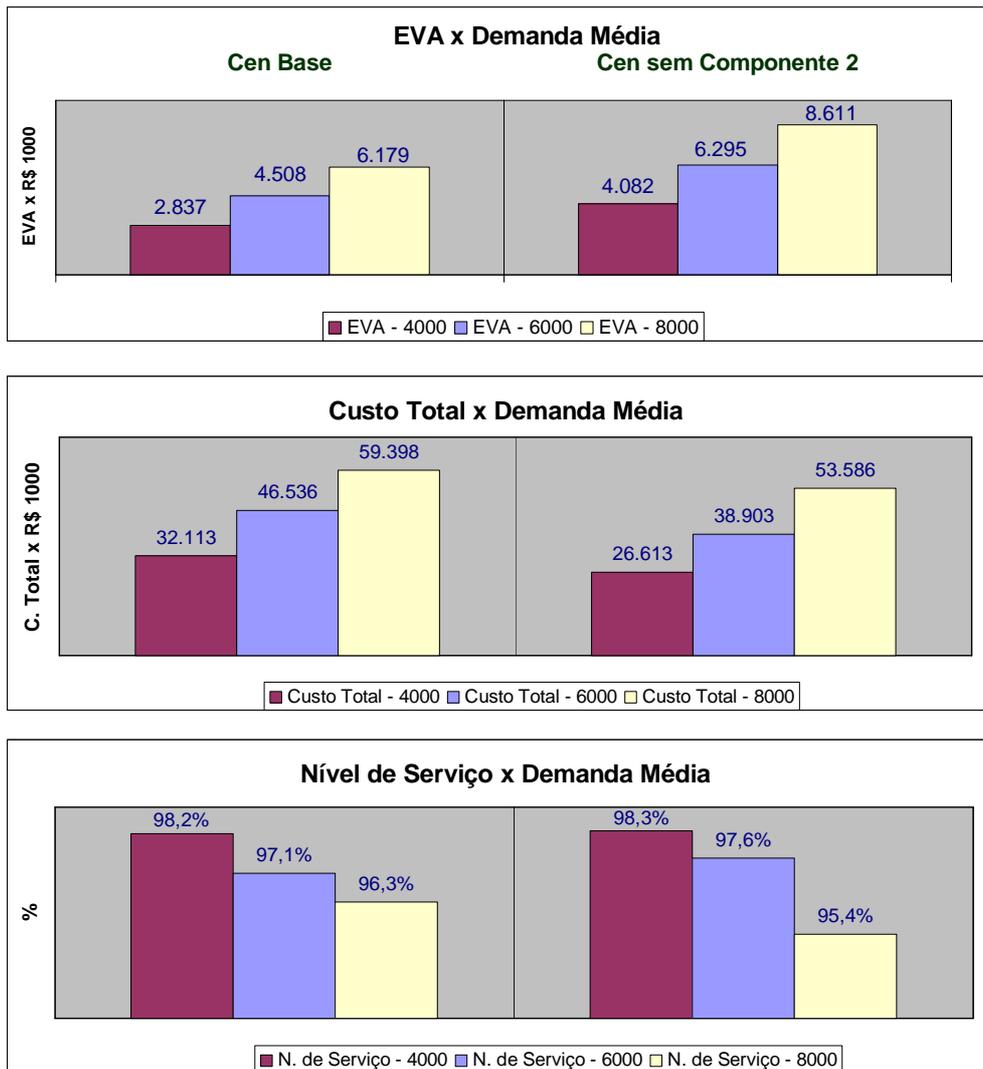


FIGURA 7.1: COMPARAÇÃO ENTRE O CENÁRIO BASE E O CENÁRIO SEM O COMPONENTE 2

Os valores apresentados nos gráficos são as médias das oito replicações das corridas de simulação executadas para cada estudo.

Analisando os gráficos, verifica-se que:

#### **SENSIBILIDADE DE DEMANDA**

- O nível de serviço cai com o aumento da demanda: a cadeia vai ficando cada vez mais saturada.
- Os custos totais (de produção e logísticos) aumentam com o aumento da demanda: maiores volumes produzidos, estocados e movimentados. O custo da perda de venda também aumenta na medida em que a cadeia se satura com o aumento da demanda.

- O EVA aumenta com o aumento da demanda: como as receitas aumentam, o NOPAT também aumenta; por outro lado, os investimentos (tancagem e estoques) permanecem no mesmo patamar.

#### **COMPARAÇÃO ENTRE O CENÁRIO BASE E O CENÁRIO SEM O COMPONENTE 2**

- A retirada do componente 2 não altera significativamente os níveis de serviço atingidos: as vazões do componente 2 não são limitantes nas formulações do produto.
- Os custos diminuem com a retirada do componente 2: não há mais tancagem, estoque e movimentação do componente 2; o custo de oportunidade do combustível especial passa a ser menor, afetando tanto o custo de produção quanto o custo de capital do estoque do combustível especial nos diversos pontos da cadeia.
- O EVA no Cenário sem o componente 2 é sempre maior em relação ao Cenário Base: menores níveis de investimento (estoques/tancagem), menor custo do produto (componente 2 é o componente mais caro).

Essas análises mostram que a empresa deveria estudar mais a fundo a possibilidade de se retirar o componente 2 da formulação do produto. Este estudo demandaria algum esforço, já que a nova formulação deve garantir que a especificação do produto seja mantida. Mas os resultados mostram que o esforço pode ser compensador: o aumento médio no EVA da cadeia foi de aproximadamente 41%.

#### **7.1.2 Variações no sistema de produção**

Nestes experimentos, são analisados e comparados ao cenário base três variações do sistema de produção do combustível especial:

- a) A cadeia de suprimento sem a refinaria 2, onde o pólo de produção 1 passa a atender a todos os terminais de distribuição;
- b) A cadeia de suprimento sem a refinaria 2, mas com a inclusão de um tanque de 3.000 m<sup>3</sup> de capacidade para formulação do combustível especial na refinaria 1;
- c) A cadeia de suprimento com os projetos de ampliação das refinarias 1 e 2 (vide *Figura 4.3: Cadeia de suprimentos do combustível especial com as duas Alterações no Sistema de Produção*).

A Figura 7.2, abaixo, mostra os esquemas representativos das duas configurações sem a refinaria 2.

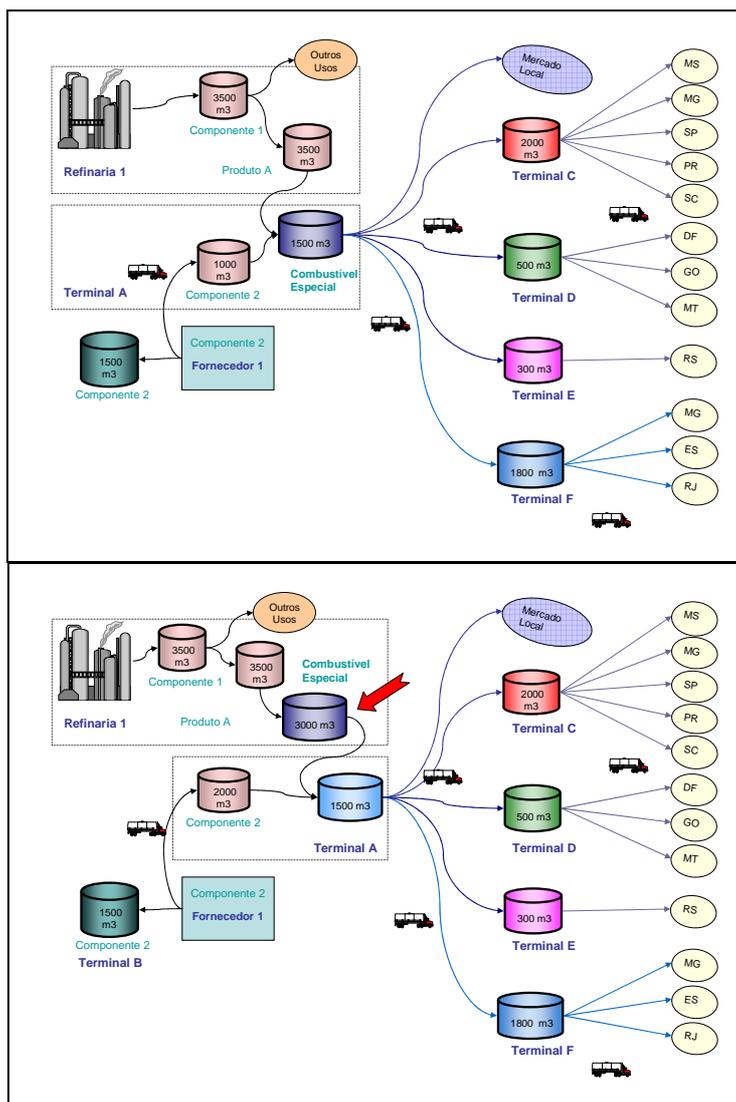


FIGURA 7.2: ESQUEMAS DA CADEIA DE SEM A REFINARIA 2 COM E SEM UM TANQUE PARA FORMULAÇÃO NA REFINARIA 1

Para cada um dos 4 cenários, o respectivo modelo de simulação é rodado para uma demanda média do combustível especial C de: 4.000, 6.000 e 8.000 m<sup>3</sup>/mês. Para os cenários (b) e (c), que apresentam uma capacidade maior de produção, os modelos também são rodados para uma demanda média de 10.000 m<sup>3</sup>/mês.

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Figura 7.3, abaixo, são apresentados gráficos comparativos de 3 indicadores para os cenários estudados: nível de serviço, custo total e EVA.

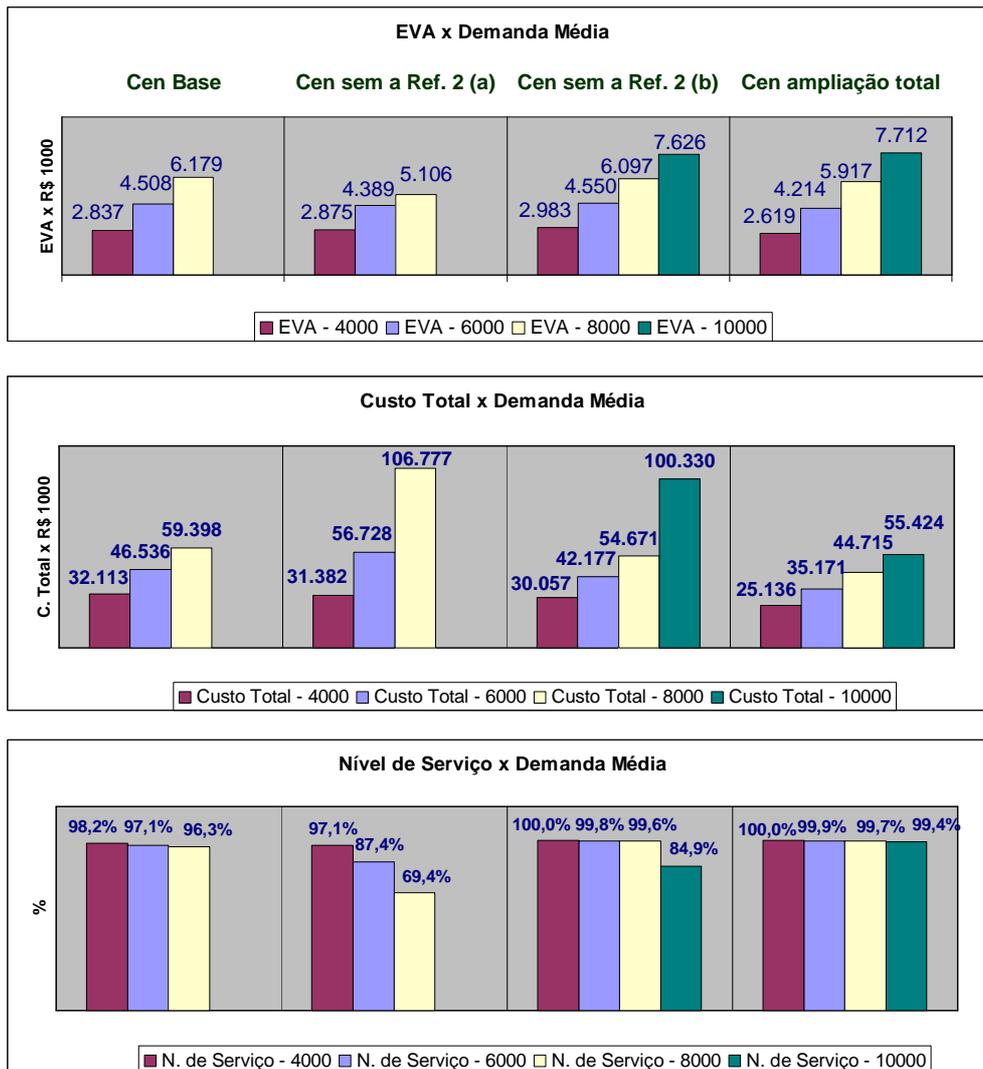


FIGURA 7.3: COMPARAÇÃO ENTRE AS 4 VARIAÇÕES DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DO COMBUSTÍVEL ESPECIAL

Analisando os gráficos, verifica-se que:

#### SENSIBILIDADE DE DEMANDA

- A análise de sensibilidade dos modelos à variação de demanda é idêntica à análise do estudo anterior.
- Cabe apenas destacar o custo da perda de venda, que tem um peso considerável no custo total dos cenários que apresentaram baixos níveis de serviço.

#### COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS DE VARIAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO

- A simples retirada da refinaria 2 do sistema de produção se mostra incapaz de atender aos requisitos mínimos de eficiência: além de não atender adequadamente à demanda, os resultados econômicos ficaram abaixo dos apresentados pelo cenário base.

- A melhor das quatro configurações estudadas, tanto em eficiência logística quanto em eficiência econômica, é a configuração “Sem a refinaria 2 com o projeto de ampliação da refinaria 1”.
- Ela só se mostra ineficiente (NS de 84,9%) quando a demanda média atinge 10.000 m<sup>3</sup>/mês. Neste caso, os projetos de ampliação das refinarias 1 e 2 (“Cenário ampliação total”) se fazem necessários. Nota-se, inclusive, que neste momento o EVA da configuração de ampliação total ultrapassa o EVA da configuração anterior (R\$ 7.712.000 contra R\$ 7.626.000), justificando os investimentos.

No capítulo 5, foram apresentados os indicadores de desempenho obtidos para o cenário base da configuração atual da cadeia. No Apêndice C, se encontram os principais indicadores obtidos para as 4 configurações estudadas nesta seção, para a demanda média de 4.000 m<sup>3</sup>/mês.

## 7.2 Estudos de capacidade máxima de produção

O objetivo desses estudos é verificar a capacidade máxima de produção para cada uma das 4 configurações do sistema de produção do combustível especial, conforme apresentadas em *4.1 Definição do problema*:

1. Configuração atual do sistema de produção,
2. O sistema de produção com o projeto de ampliação da refinaria 1,
3. O sistema de produção com o projeto de ampliação da refinaria 2, e
4. O sistema de produção com os projetos de ampliação total.

Os experimentos foram realizados variando-se a quantidade de bicos de enchimento, isto é, a quantidade de caminhões que se pode carregar/descarregar simultaneamente nos pólos de produção.

Os bicos foram parametrizados para:

- refinaria 1: componente 1;
- terminal A: combustível especial e componente 2;
- refinaria 2: combustível especial, componente 1 e componente 2.

Os 4 modelos são rodados com a quantidade de bicos variando de 1 a 4.

O tamanho da corrida é de 426 dias com o período de aquecimento de 60 dias, ou seja, são considerados os resultados de 365 dias. Este período de aquecimento é suficiente para eliminar o período transiente.

Premissas adotadas na realização dos estudos:

- Escoamento total da produção;
- Sem restrição de componente 2, ou seja, supõe-se que o mercado atende plenamente a demanda pelo componente;
- Produção do componente 1 na capacidade máxima (500 m<sup>3</sup>/dia).

Os gráficos a seguir mostram, para cada uma das quatro configurações, a evolução dos níveis de estoque nos tanques de formulação do combustível especial. Nestes primeiros experimentos, utilizou-se em cada ponto de carga e descarga de caminhões um bico de enchimento.

Nestes gráficos, é possível observar os ciclos de produção de cada configuração: recebimento dos componentes, homogeneização / certificação e retirada para o mercado.

Nos estudos (3) e (4), onde as formulações no pólo 2 passam a ser realizadas de forma alternada em dois tanques, nota-se que o volume produzido no segundo tanque só começa a ser escoado após o escoamento de todo o volume do primeiro. Isto acontece devido a utilização de apenas 1 bico para carga/descarga dos caminhões.

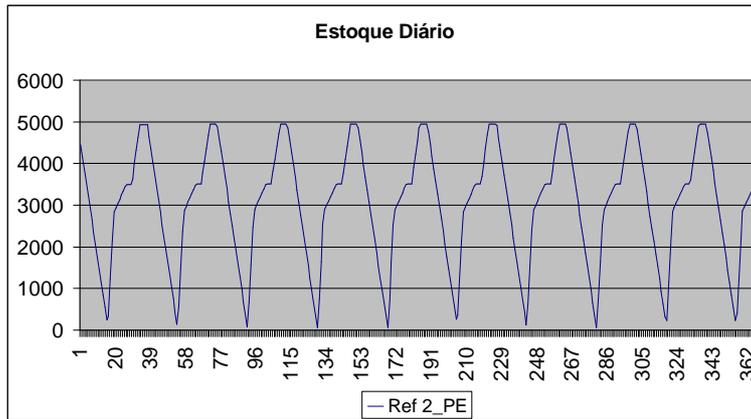
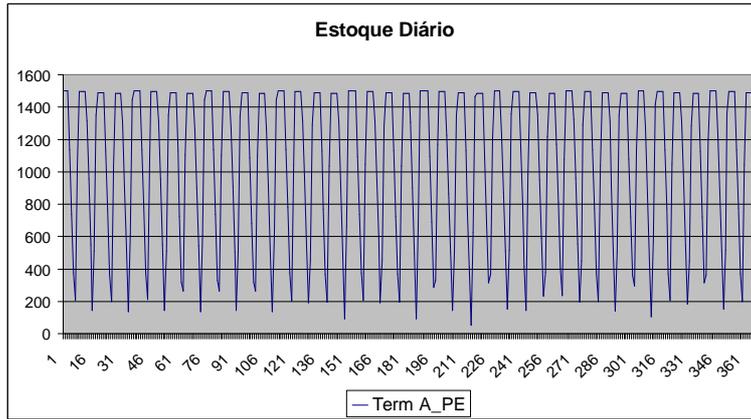


FIGURA 7.4: CONFIGURAÇÃO ATUAL – TANQUES DE FORMULAÇÃO

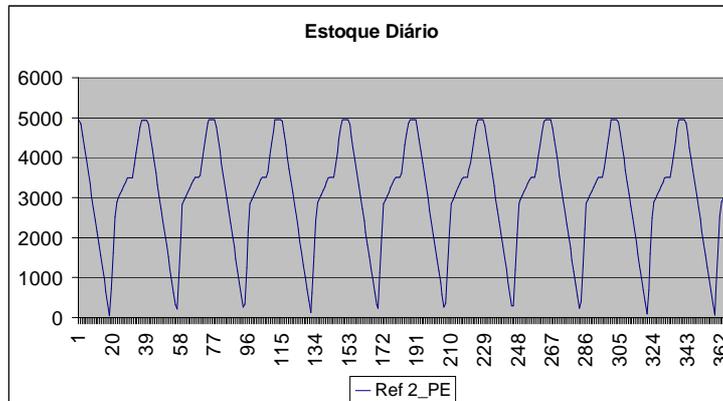
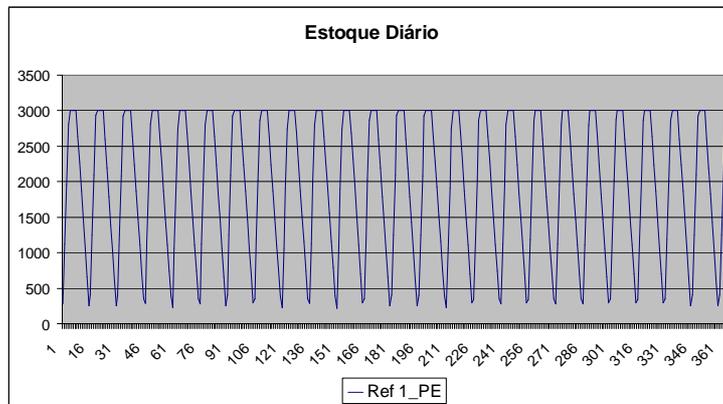


FIGURA 7.5: PROJETO DE AMPLIAÇÃO DA REFINARIA 1 – TANQUES DE FORMULAÇÃO

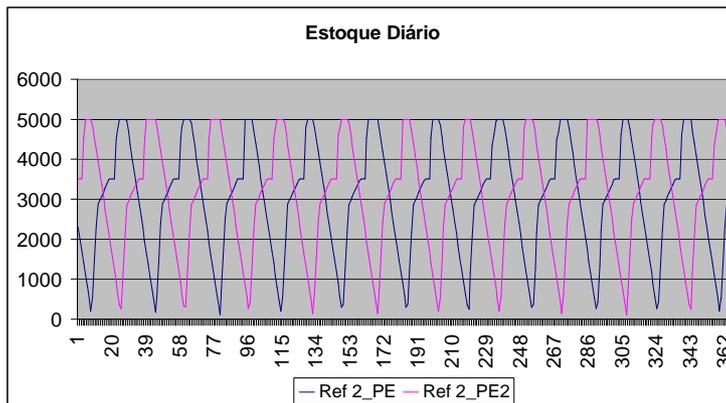
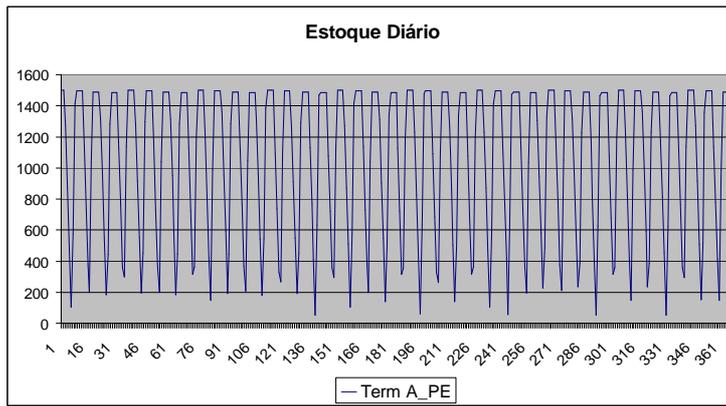


FIGURA 7.6: PROJETO DE AMPLIAÇÃO DA REFINARIA 2 – TANQUES DE FORMULAÇÃO

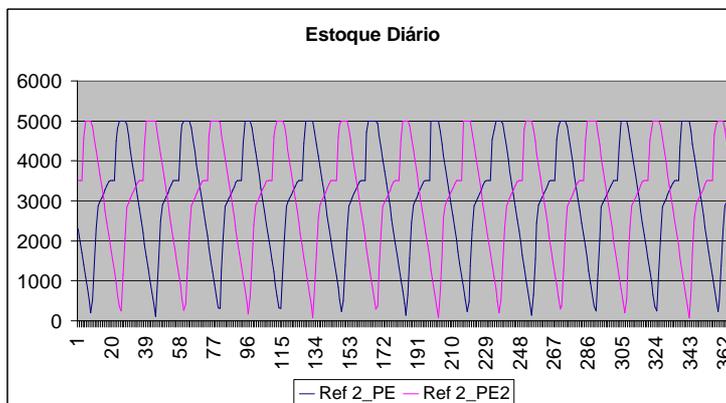
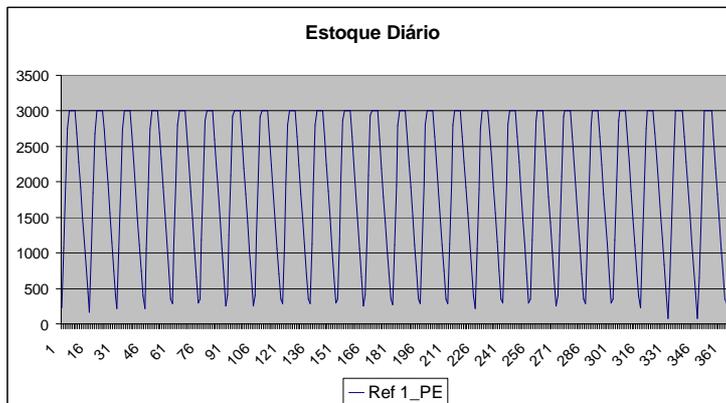


FIGURA 7.7: PROJETO DE AMPLIAÇÃO TOTAL – TANQUES DE FORMULAÇÃO

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na medida em que se aumenta a quantidade de bicos para receber e enviar componentes e produto especial, o tamanho dos ciclos diminui e, conseqüentemente, aumenta a capacidade de produção.

Como pode-se observar nos gráficos da Figura 7.8, abaixo, aumentando-se o número de bicos para carga e descarga de caminhões na refinaria 2, os ciclos de produção passam a ser mais rápidos.

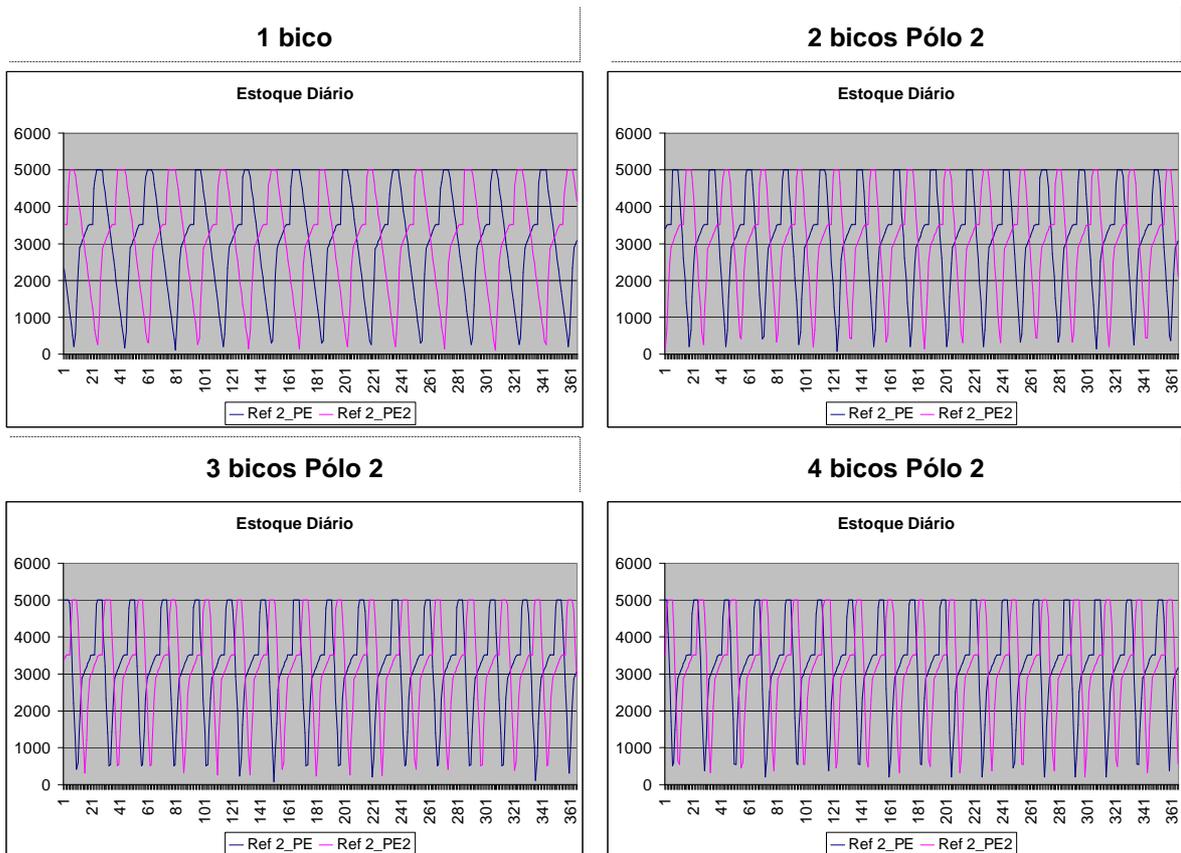


FIGURA 7.8: AUMENTO DA QUANTIDADE DE BICOS NOS TANQUES DE FORMULAÇÃO NA REFINARIA 2

Em seguida, são apresentados 2 gráficos comparativos dos estudos realizados: um para capacidade máxima de produção (Figura 7.9) e outro para o *lead time* total (Figura 7.10).

A capacidade máxima apresentada é o valor máximo de combustível especial C – 75% do combustível especial mais 25% de álcool anidro – que se pode produzir em cada configuração estudada. O *lead time* (LT) total é o tamanho do ciclo completo, em dias, de se receber os componentes, formular o produto e distribuir ao mercado.

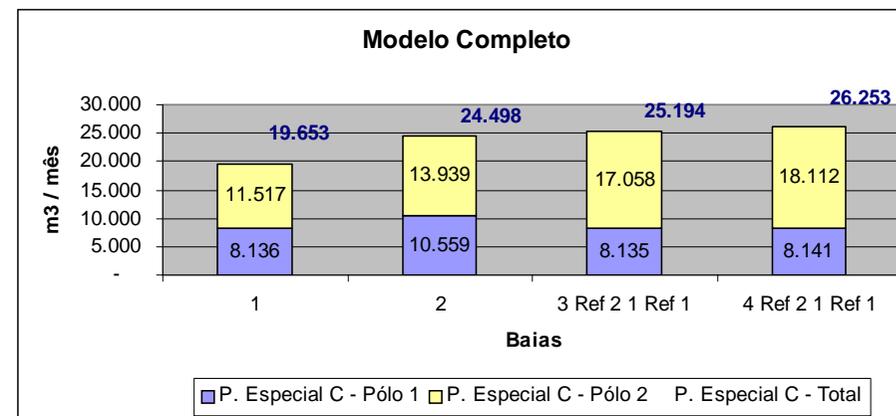
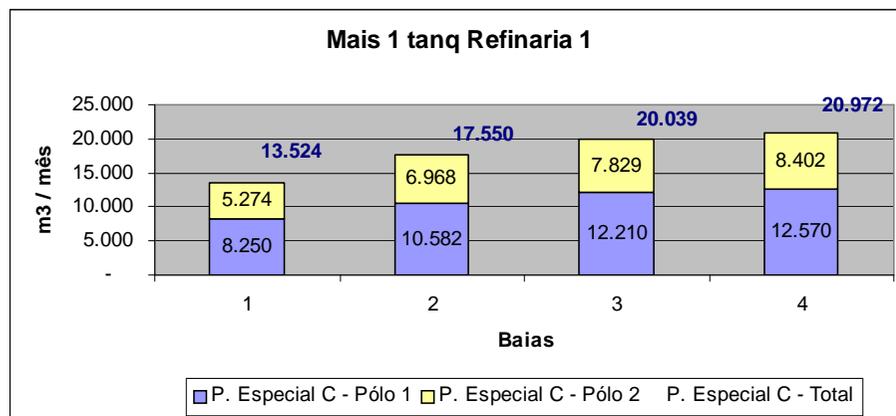
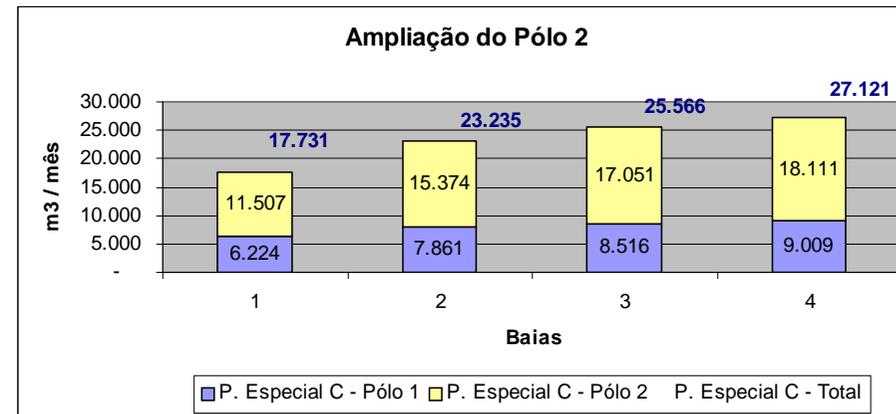
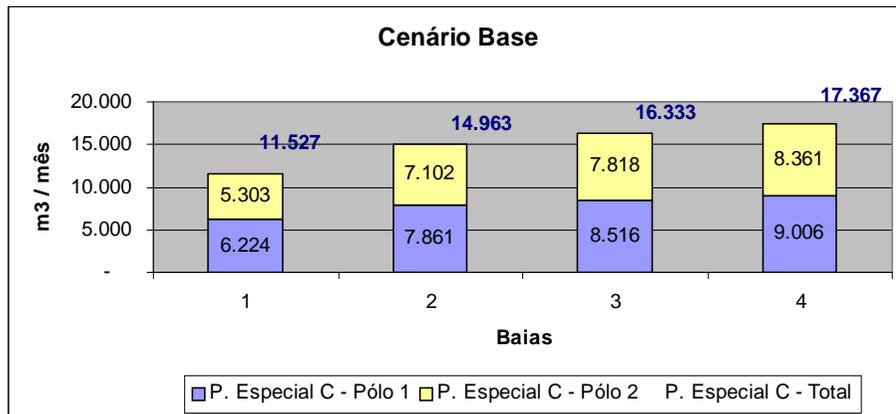


FIGURA 7.9: CAPACIDADE MÁXIMA DE PRODUÇÃO

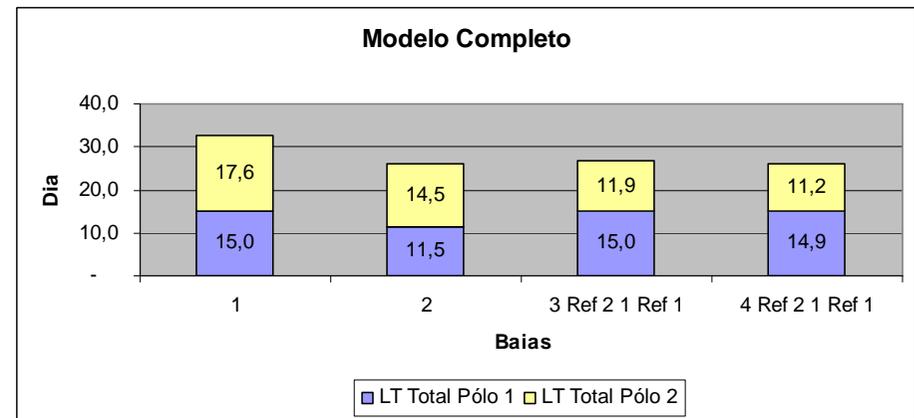
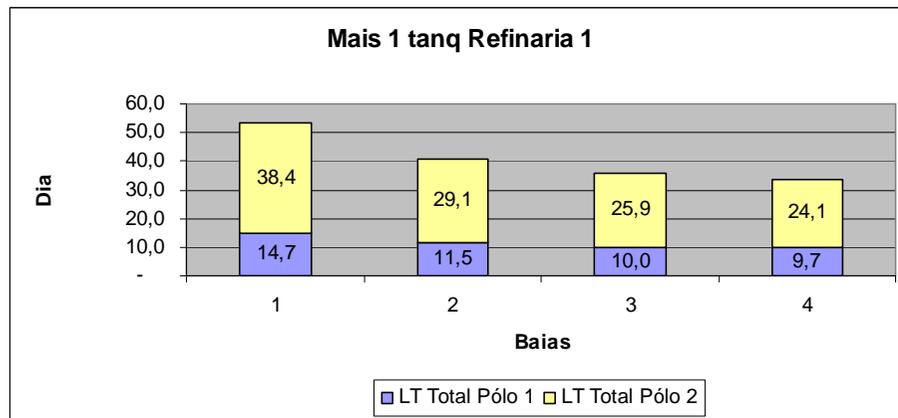
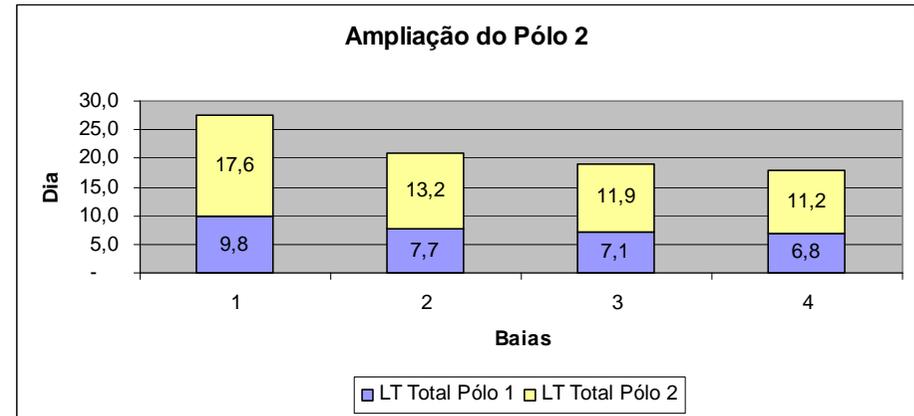
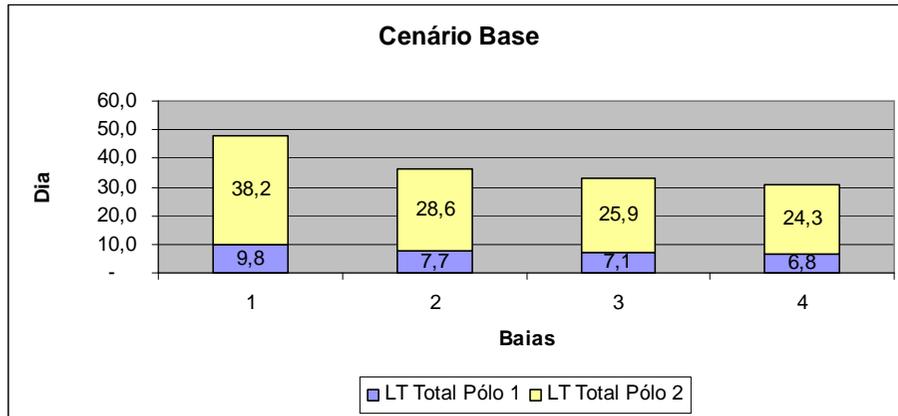


FIGURA 7.10: LEAD TIME TOTAL

TABELA 7.3: QUADRO COMPARATIVO DOS ESTUDOS DE CAPACIDADE MÁXIMA DE PRODUÇÃO

Cenário	Nº de bicos	Produção Máx Pólo 1	Produção Máx Pólo 2	Produção Máx Total	P. Especial C - Pólo 1	P. Especial C - Pólo 2	P. Especial C - Total	Dem Comp 1 Total	LT Total Pólo 1	LT Total Pólo 2
Config. atual	1	4.668	3.978	8.645	6.224	5.303	11.527	4.262	9,8	38,2
Config. atual	2	5.895	5.327	11.222	7.861	7.102	14.963	5.458	7,7	28,6
Config. atual	3	6.387	5.863	12.250	8.516	7.818	16.333	5.936	7,1	25,9
Config. atual	4	6.755	6.271	13.025	9.006	8.361	17.367	6.296	6,8	24,3
Mais 1 tanq Refinaria 1	1	6.187	3.956	10.143	8.250	5.274	13.524	5.320	14,7	38,4
Mais 1 tanq Refinaria 1	2	7.937	5.226	13.162	10.582	6.968	17.550	6.862	11,5	29,1
Mais 1 tanq Refinaria 1	3	9.157	5.872	15.029	12.210	7.829	20.039	7.878	10,0	25,9
Mais 1 tanq Refinaria 1	4	9.427	6.301	15.729	12.576	8.402	20.972	8.175	9,7	24,1
Ampliação do Pólo 2	1	4.668	8.630	13.298	6.224	11.507	17.731	5.425	9,8	17,6
Ampliação do Pólo 2	2	5.895	11.531	17.426	7.861	15.374	23.235	7.009	7,7	13,2
Ampliação do Pólo 2	3	6.387	12.788	19.175	8.516	17.051	25.566	7.668	7,1	11,9
Ampliação do Pólo 2	4	6.757	13.583	20.340	9.009	18.111	27.121	8.126	6,8	11,2
Modelo Completo	1	6.102	8.638	14.740	8.136	11.517	19.653	8.221	15,0	17,6
Modelo Completo	2	7.919	10.454	18.374	10.559	13.939	24.498	8.157	11,5	14,5
Modelo Completo	3 Ref 2 1 Ref 1	6.102	12.794	18.895	8.135	17.058	25.194	7.470	15,0	11,9
Modelo Completo	4 Ref 2 1 Ref 1	6.106	13.584	19.690	8.141	18.112	26.253	7.670	14,9	11,2

O quadro comparativo da tabela acima mostra o resumo dos resultados dos estudos de capacidade máxima realizados.

Como se pode observar, com 4 bicos para carga e descarga de caminhões, a capacidade máxima do estudo (3) *Ampliação do pólo 2* (valor destacado em verde) é maior que a do estudo (4) *Modelo Completo*. Isso se deve à restrição de capacidade do componente 1 (15.000 m<sup>3</sup>/mês)<sup>17</sup> e à demanda de outros produtos por este componente (7.000 m<sup>3</sup>/mês). Como o pólo 2 utiliza menos componente 1 em sua formulação, quando o sistema é estressado, consegue-se produzir mais produto especial neste pólo que no pólo 1.

Nota-se também que o aumento de bicos tem um impacto maior no pólo 2.

Por fim, vale observar que o projeto de ampliação do pólo 2 reduz o tamanho do seu ciclo em cerca **46%** (de **38,2** para **17,6** dias). O desempenho logístico deste pólo de produção é afetado em 2 pontos com o projeto de ampliação: primeiro, os componentes externos não chegam mais de caminhão no momento da formulação, eles passam a ser armazenados em tanques na própria refinaria; segundo, os 2 tanques de formulação funcionando em paralelo compensam a baixa vazão do componente 4 (10 m<sup>3</sup>/h).

### 7.3 Estudos paramétricos – otimização de resultados

Nesta seção são apresentados dois experimentos de “otimização da simulação”: o primeiro, do modelo de simulação da configuração atual da cadeia, para uma demanda média de 6000 m<sup>3</sup>/mês; e o segundo, do modelo de simulação sem a refinaria 2, com a inclusão de um tanque para a formulação do produto na refinaria 1.

<sup>17</sup> A capacidade máxima de produção do componente 1 é de 500 m<sup>3</sup>/dia.

### **7.3.1 Quantidade de bicos para carga e descarga de caminhões – Maximizar EVA**

Este estudo consiste em otimizar os investimentos em bicos para carga e descarga de caminhões nos diversos pontos da cadeia, visando maximizar o seu desempenho econômico, com um desempenho operacional satisfatório.

O problema pode ser definido da seguinte forma:

- Função Objetivo: Maximizar EVA Total
- Restrições:
  - NS Total  $\geq 97,5\%$
  - NS terminal C  $\geq 95\%$
  - NS terminal D  $\geq 95\%$
  - NS terminal E  $\geq 90\%$
  - NS terminal F  $\geq 95\%$
- Variáveis de controle:
  - Nº. de bicos para carga/descarga de caminhão nas refinarias e nos terminais
- Modelo de simulação:
  - Configuração atual da cadeia com uma demanda média de 6000 m<sup>3</sup>/mês.

Este estudo foi utilizado no capítulo 6 para exemplificar o preparo e a execução da otimização no OptQuest. Os resultados do estudo são analisados a seguir.

#### **PARÂMETROS DE OTIMIZAÇÃO**

- Definição dos controles

As variáveis de controle definidas para o problema são as quantidades de bicos de enchimento para o recebimento ou envio de produtos nos diversos pontos da cadeia. Os seus parâmetros de otimização se encontram na Tabela 7.4, abaixo:

TABELA 7.4: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 1 – VARIÁVEIS DE CONTROLE

<i>Variável de controle</i>	<i>Descrição</i>	<i>Limite Inferior</i>	<i>Valor sugerido</i>	<i>Limite superior</i>
NBaias_Refin_1_Comp_1	Nº de bicos na Refinaria 1 / Componente 1	1	1	2
NBaias_Refin_2_Comp_1	Nº de bicos na Refinaria 2 / Componente 1	1	1	2
NBaias_Refin_2_Comp_2	Nº de bicos na Refinaria 2 / Componente 2	1	1	2
NBaias_Refin_2_PEsp	Nº de bicos na Refinaria 2 / C. Especial	1	1	2
NBaias_Term_A_PEsp	Nº de bicos na Terminal A / C. Especial	1	3	4
NBaias_Term_C_PEsp	Nº de bicos na Terminal C / C. Especial	1	2	4
NBaias_Term_D_PEsp	Nº de bicos na Terminal D / C. Especial	1	1	2
NBaias_Term_E_PEsp	Nº de bicos na Terminal E / C. Especial	1	1	4
NBaias_Term_F_PEsp	Nº de bicos na Terminal F / C. Especial	1	1	2

Essas variáveis são discretas e o passo, isto é, a diferença mínima entre os valores de uma iteração e de outra, é de uma unidade.

Os limites superiores foram definidos a partir do conhecimento prévio das restrições de espaço e recursos, bem como da demanda prevista para cada local.

Já o valor sugerido, em torno do qual se inicia o processo de otimização, foi testado com uma corrida do modelo de simulação e verificou-se que os resultados satisfazem as restrições do problema. Além disso, pela experiência dos profissionais da empresa e pelos experimentos anteriores, sabe-se que a formulação no terminal A e a distribuição no terminal C são dois gargalos do sistema, ou seja, a solução ótima tem grandes chances de estar próxima desta solução.

- Definição das respostas

As variáveis de resposta escolhidas para o problema são os resultados que se deseja verificar ao final do processo. Vide Tabela 7.5, abaixo.

A função objetivo e as restrições do problema, apresentadas no início do problema, são definidas utilizando-se as variáveis de resposta.

TABELA 7.5: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 1 – VARIÁVEIS DE RESPOSTA

<i>Variável de resposta</i>	<i>Descrição</i>
EVA_Refin_1	EVA da Refinaria 1
EVA_Refin_2	EVA da Refinaria 2
EVA_Produtora	EVA da Empresa
EVA_GAT1	EVA da Gerência de Vendas 1
EVA_GAT2	EVA da Gerência de Vendas 2
EVA_GAT3	EVA da Gerência de Vendas 3
EVA_Distribuidora	EVA da Distribuidora
EVA_TOT	EVA total da holding
NS_Term_A_SP_Med	Nível de serviço para mercado local do Terminal A
NS_Term_C_Med	Nível de serviço para mercado atendido pelo Terminal C
NS_Term_D_Med	Nível de serviço para mercado atendido pelo Terminal D
NS_Term_E_RS_Med	Nível de serviço para mercado atendido pelo Terminal E
NS_Term_F_Med	Nível de serviço para mercado atendido pelo Terminal F
NS_TOTAL_Med	Nível de serviço total

- Soluções sugeridas

Além da solução inicial sugerida na definição dos parâmetros das variáveis de controle, foram sugeridas mais algumas soluções para serem verificadas durante o processo de otimização. Vide Tabela 7.6, abaixo.

TABELA 7.6: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 1 – SOLUÇÕES SUGERIDAS

<i>Variável de controle</i>	<i>Solução 1</i>	<i>Solução 2</i>	<i>Solução 3</i>	<i>Solução 4</i>	<i>Solução 5</i>
NBaias_Refin_1_Comp_1	1	2	1	1	2
NBaias_Refin_2_Comp_1	1	1	1	1	1
NBaias_Refin_2_Comp_2	1	1	1	1	1
NBaias_Refin_2_PEsp	1	1	1	1	1
NBaias_Term_A_PEsp	3	3	2	2	2
NBaias_Term_C_PEsp	2	2	2	2	2
NBaias_Term_D_PEsp	1	1	1	1	1
NBaias_Term_E_PEsp	2	1	1	2	2
NBaias_Term_F_PEsp	1	1	1	1	1

- Definição das opções de otimização

As opções de otimização são aquelas apresentadas no capítulo 6, na *Figura 6.8: Definição das Opções de Otimização do OptQuest*.

#### **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

O OptQuest realizou um total de 100 simulações para encontrar a melhor solução segundo as opções e os parâmetros definidos. Os valores obtidos para a função objetivo de cada simulação são apresentadas no gráfico da Figura 7.11, a seguir. No gráfico da Figura 7.12, é possível observar com mais nitidez os valores obtidos para as vinte primeiras simulações. A linha em azul mostra o valor da função objetivo, independente da viabilidade da solução. E a linha em verde, apresenta a melhor solução viável encontrada a cada simulação.

Em vermelho, estão destacadas as 3 melhores soluções inviáveis encontradas.

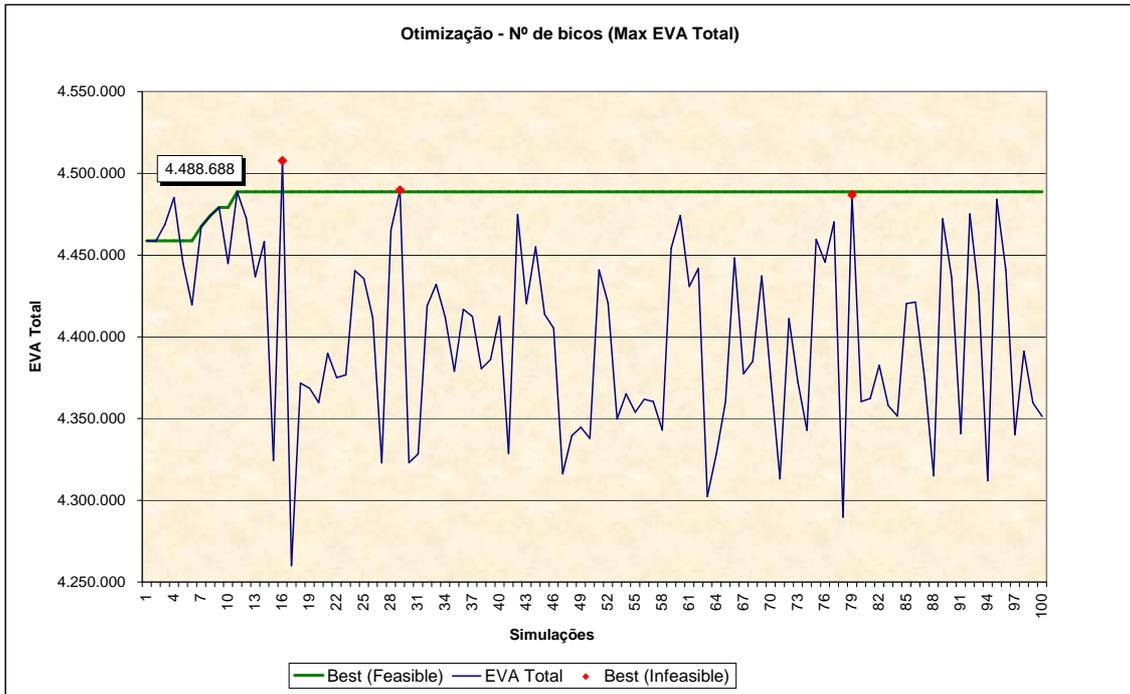


FIGURA 7.11: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 1 – RESULTADOS ENCONTRADOS

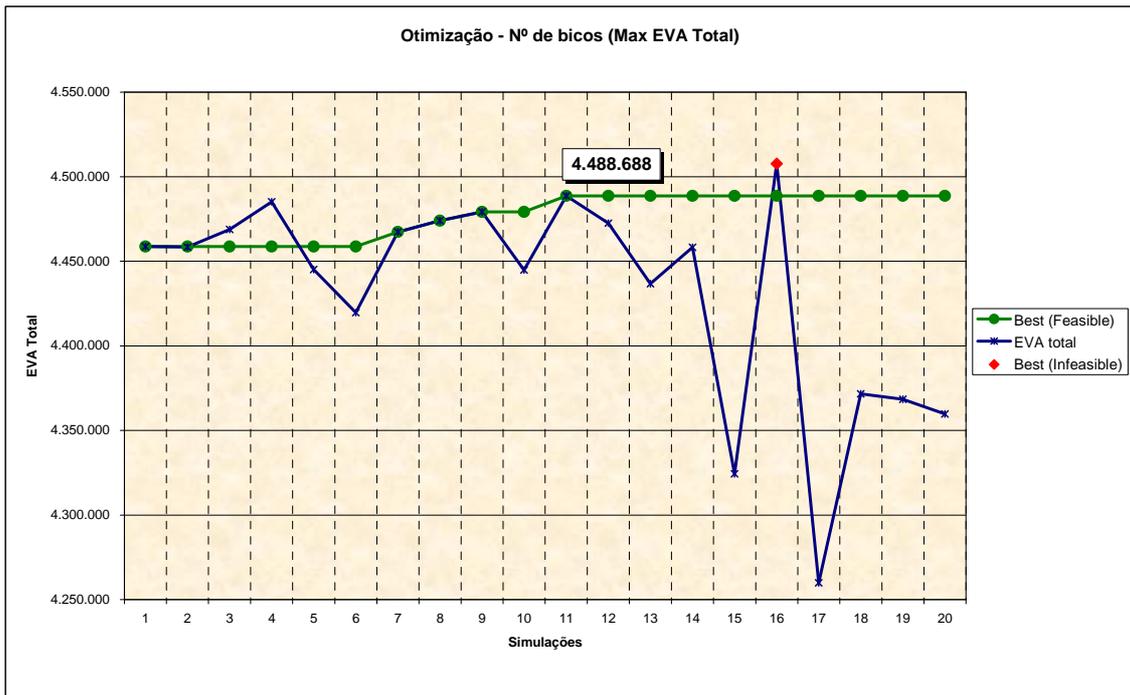


FIGURA 7.12: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 1 – RESULTADOS DAS 20 PRIMEIRAS SIMULAÇÕES

TABELA 7.7: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 1 – SOLUÇÃO ÓTIMA ENCONTRADA

<b>Simulation: 11 *****NEW BEST SOLUTION*****</b>		
14/03/2008 09:18		
Number of Replications: 8		
Std Dev = 32433,854580873 Termination Reason = The objective value has met the confidence level.		
<u>Values of Decision Variables</u>		
NBaias_Refin_1_Comp_1:	1	
NBaias_Refin_2_Comp_1:	1	
NBaias_Refin_2_Comp_2:	2	
NBaias_Refin_2_PEsp:	1	
NBaias_Term_A_PEsp:	3	
NBaias_Term_C_PEsp:	1	
NBaias_Term_D_PEsp:	1	
NBaias_Term_E_PEsp:	1	
NBaias_Term_F_PEsp:	1	
<u>Values of Output Variables</u>		
EVA_Distribuidora:	3.357.259,12	
EVA_GAT1:	868.704,15	
EVA_GAT2:	1.144.918,88	
EVA_GAT3:	1.343.636,09	
EVA_Produtora:	1.175.680,98	
EVA_Refin_1:	772.413,34	
EVA_Refin_2:	403.267,63	
EVA_TOT:	4.532.940,09	
NS_Term_A_SP_Med:	48,96%	
NS_Term_C_Med:	100,00%	
NS_Term_D_Med:	99,86%	
NS_Term_E_RS_Med:	98,77%	
NS_Term_F_Med:	100,00%	
NS_TOTAL_Med:	97,87%	
Max EVA Tot:	4.488.687,92	(Best)
NS Term C:	NonLinear feasible	
NS Term D:	NonLinear feasible	
NS Term E:	NonLinear feasible	
NS Term F:	NonLinear feasible	
NS Total:	NonLinear feasible	

A solução ótima, que maximiza o EVA total respeitando as restrições de nível de serviço, foi obtida na 11ª corrida de simulação. A solução encontrada é apresentada na Tabela 7.7, abaixo. Esta tabela contém as informações do arquivo de LOG gerado pelo OptQuest: os valores das variáveis de controle e das variáveis de resposta.

Na tabela, observa-se 2 valores distintos para o EVA total. Isto acontece porque os valores das variáveis de saída (*Values of Output Variables*) apresentados correspondem à última replicação da simulação, enquanto o valor de “Max EVA Tot” corresponde à média entre todas as replicações da corrida. Este último, é o valor utilizado pelo software na busca pela melhor solução.

O arquivo LOG com as dez melhores soluções obtidas é apresentado no Apêndice D.

A solução ótima indica a colocação de 3 bicos de enchimento para a transferência do combustível especial do terminal A para os terminais de distribuição; e a colocação de 2 bicos, para o recebimento do componente 2 durante a formulação do combustível na refinaria 2.

Os 3 bicos no terminal A fazem com que o escoamento do produto seja mais rápido, melhorando os níveis de serviço dos terminais e permitindo que mais bateladas sejam realizadas neste pólo produtor. Já a colocação de mais um bico para o recebimento do componente 2 reduz o tamanho do ciclo de produção na refinaria 2. Este fato contribui principalmente para o aumento do EVA, por reduzir o estoque médio no tanque de formulação. Vale lembrar que o volume produzido, assim como o intervalo entre as bateladas, é bem grande.

Ao final do experimento, o OptQuest apresenta um ranking das melhores soluções encontradas (vide Apêndice E). A Tabela 7.8, abaixo, apresenta as 5 primeiras soluções viáveis encontradas.

TABELA 7.8: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 1 – AS 5 MELHORES SOLUÇÕES VIÁVEIS

<i>Variável de controle</i>	<i>Simulação 11</i>	<i>Simulação 9</i>	<i>Simulação 60</i>	<i>Simulação 8</i>	<i>Simulação 12</i>
NBaías_Refin_1_Comp_1	1	1	1	1	1
NBaías_Refin_2_Comp_1	1	2	2	2	1
NBaías_Refin_2_Comp_2	2	1	1	2	1
NBaías_Refin_2_PEsp	1	1	1	1	1
NBaías_Term_A_PEsp	3	3	3	3	2
NBaías_Term_C_PEsp	1	1	1	1	2
NBaías_Term_D_PEsp	1	1	1	1	1
NBaías_Term_E_PEsp	1	2	1	1	2
NBaías_Term_F_PEsp	1	1	1	1	1
Max EVA Tot	4.488.688	4.479.169	4.474.164	4.474.010	4.472.523

As soluções apresentadas, hierarquizadas conforme os parâmetros definidos, vão subsidiar e orientar a tomada de decisão sobre possíveis investimentos para a obtenção de resultados.

A esta primeira análise, deve se seguir uma avaliação mais aprofundada das principais soluções indicadas. Nota-se, por exemplo, que, nestas 5 soluções apresentadas, a diferença entre os valores de EVA total não é tão grande. A empresa poderia assumir o custo desta diferença, em troca de um desempenho operacional específico proporcionado por outra solução diferente da primeira.

### **7.3.2 Maximizar a demanda média mensal pelo combustível especial**

Nos estudos apresentados na seção 7.1.2, chegou-se a conclusão que a configuração de melhor desempenho, operacional e econômico, foi aquela sem a refinaria 2 com a inclusão de um tanque para a formulação do combustível especial na refinaria 1. A não ser quando, no estudo de sensibilidade, a demanda média pelo combustível especial foi de 10.000 m<sup>3</sup>/mês. O desempenho operacional neste caso foi bastante ruim, com um nível de serviço de 84,9%. Mas exatamente até que demanda mensal esta configuração da cadeia apresentaria um desempenho operacional satisfatório?

O OptQuest pode ser utilizado para responder esta questão.

O problema é definido da seguinte forma:

- Função Objetivo: Maximizar Demanda Média Mensal
- Restrição:
  - NS Total  $\geq$  98%
- Variável de controle:
  - Demanda média mensal
- Modelo de simulação:
  - Configuração sem a refinaria 2 com a inclusão de um tanque para formulação do produto na refinaria 1.

Para este estudo, deve-se criar no modelo de simulação uma variável que calcula a demanda média mensal a partir dos vetores de demanda obtidos do arquivo de entrada (vide Tabela 4.9). E uma variável para a nova demanda média desejada. A razão entre a demanda média desejada e a demanda média obtida do arquivo de entrada gera um fator, que é utilizado no modelo para alterar a demanda individual de cada mercado a ser atendido.

O problema de otimização será rodado em três etapas. Em cada etapa, a faixa de variação da variável de controle será estreitada até que se obtenha o valor ótimo com a precisão desejada.

#### **PARÂMETROS DE OTIMIZAÇÃO**

As variáveis de resposta escolhidas são as mesmas do problema anterior, vide Tabela 7.5. A função objetivo é definida sobre a própria variável de controle: *Maximizar*

*Dem\_media*; e a restrição, sobre uma das variáveis de resposta:  $NS\_total\_med \geq 98/100$ .

Pela estratégia de solução adotada, a faixa de variação da variável de controle é pequena, permitindo a verificação de todas as soluções possíveis para o problema.

As opções de otimização definidas são as seguintes: parada automática do número de simulações realizadas pelo software (uma vez, que todas as soluções serão verificadas); tolerância de uma unidade para determinar a igualdade entre duas soluções; e 8 replicações para cada simulação.

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

- Primeira Etapa

A variável de controle definida para o problema é a demanda média desejada para o combustível especial. Os parâmetros de otimização da variável de controle para primeira etapa do processo de otimização se encontram na Tabela 7.9, abaixo.

TABELA 7.9: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 2 – VARIÁVEIS DE CONTROLE DA 1ª ETAPA

<i>Variável de controle</i>	<i>Descrição</i>	<i>Limite Inferior</i>	<i>Valor sugerido</i>	<i>Limite superior</i>	<i>Passo</i>
<i>Dem_media</i>	Demanda média mensal do combustível especial	8000	8800	9600	200

Desta forma, o OptQuest realizou um total de 9 simulações, ou seja, verificou todas as soluções possíveis para encontrar a melhor, segundo os parâmetros definidos. Os valores obtidos para a função objetivo de cada simulação são apresentadas no gráfico da Figura 7.13, abaixo. A linha em azul mostra o valor da função objetivo, independente da viabilidade da solução. E a linha em vermelho, apresenta a melhor solução viável encontrada a cada simulação.

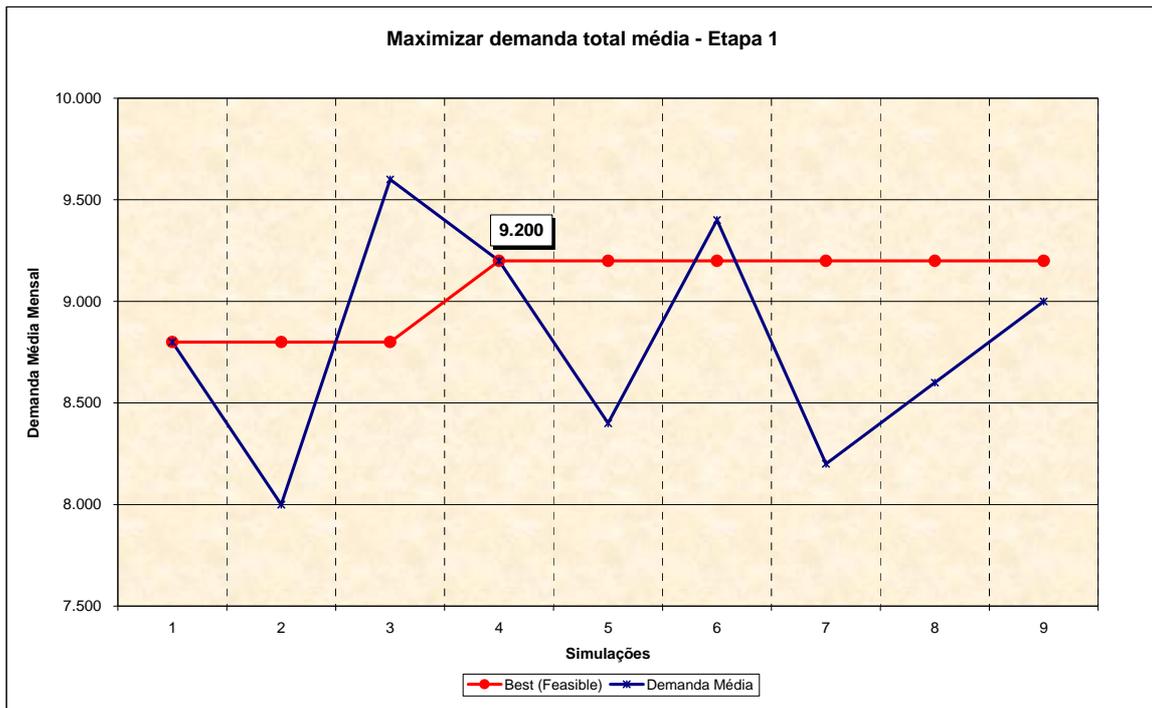


FIGURA 7.13: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 2 – RESULTADOS ENCONTRADOS NA 1ª ETAPA

A melhor solução viável encontrada nesta etapa foi 9.200 m<sup>3</sup>/mês. Este será o limite inferior para a variável de controle na 2ª etapa do processo de refinamento da otimização. O limite superior será de 9.400 m<sup>3</sup>/mês (primeiro valor inviável da função objetivo depois do ótimo).

- Segunda Etapa

A Tabela 7.10, abaixo, mostra os parâmetros de otimização da variável de controle para segunda etapa do processo de otimização.

TABELA 7.10: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 2 – VARIÁVEIS DE CONTROLE DA 2ª ETAPA

<i>Variável de controle</i>	<i>Descrição</i>	<i>Limite Inferior</i>	<i>Valor sugerido</i>	<i>Limite superior</i>	<i>Passo</i>
Dem_media	Demanda média mensal do combustível especial	9200	9300	9400	50

Foram realizadas 5 simulações, uma para cada solução possível conforme os parâmetros acima. Vide Figura 7.14, abaixo.

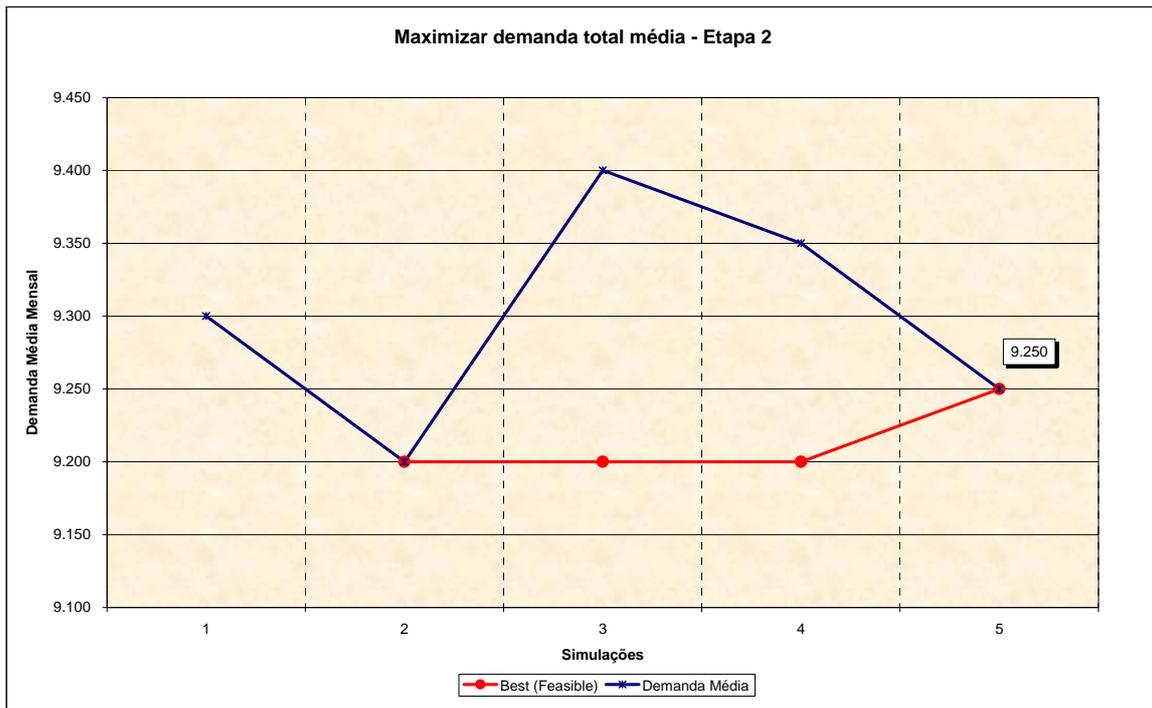


FIGURA 7.14: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 2 – RESULTADOS ENCONTRADOS NA 2ª ETAPA

A melhor solução viável encontrada nesta etapa foi 9.250 m<sup>3</sup>/mês, que passa a ser o limite inferior da última etapa do processo. O limite superior será de 9.300 m<sup>3</sup>/mês.

- Terceira Etapa

Os parâmetros de otimização da variável de controle para última etapa do processo de otimização são apresentados abaixo, na Tabela 7.11.

TABELA 7.11: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 2 – VARIÁVEIS DE CONTROLE DA 3ª ETAPA

Variável de controle	Descrição	Limite Inferior	Valor sugerido	Limite superior	Passo
Dem_media	Demanda média mensal do combustível especial	9250	9280	9300	10

Depois de realizar as seis simulações possíveis, conforme os parâmetros mostrados acima, a solução ótima encontrada para o problema sugere uma demanda média de 9.270 m<sup>3</sup>/mês. Os resultados encontrados nesta última etapa são apresentados na Figura 7.15.

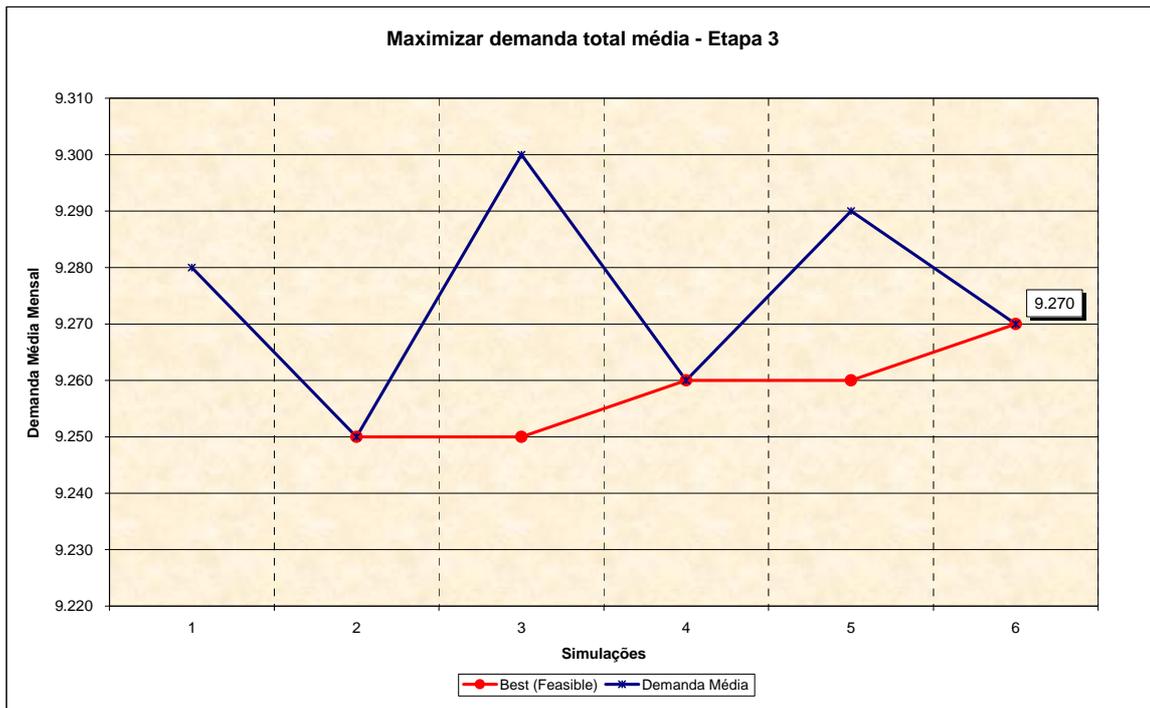


FIGURA 7.15: EXPERIMENTO DE OTIMIZAÇÃO 2 – RESULTADOS ENCONTRADOS NA 3ª ETAPA

Com um total de 20 simulações – 9 na primeira, 5 na segunda e 6 na última etapa –, foi possível obter de forma relativamente rápida uma resposta precisa para a questão levantada no início da seção. A cadeia de suprimento com apenas um pólo de produção e mais um tanque para a formulação do produto na refinaria 1, considerando os parâmetros e as simplificações do modelo, seria capaz de atender a uma demanda média de 9.270 m<sup>3</sup>/mês de combustível especial, com um nível de serviço superior a 98%. O EVA total da cadeia de suprimento seria de R\$ 7.407.186,01.

O tempo total gasto no processo foi de 00:47:48 minutos. Na primeira etapa, 00:24:27; na segunda, 00:10:39; e na terceira, 00:12:42. A máquina utilizada foi um IBM Think Pad, com um processador Intel Pentium de 1,7 GHz e 1 GB de memória RAM.

Os arquivos LOG gerados em cada etapa pelo software se encontram nos apêndices A.1, F.2 e F.3.

## CAPÍTULO 8

### 8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O principal objetivo deste trabalho foi mostrar a aplicabilidade da simulação computacional como ferramenta de análise e tomada de decisão em estudos da cadeia de suprimento de um produto especial.

O problema consistia em avaliar a capacidade de atendimento e a eficiência logística e econômica da cadeia de suprimento do combustível especial. E possibilitar estudos de cenários e de sensibilidade de determinadas variáveis sobre os resultados da cadeia.

Uma grande vantagem do uso da simulação computacional é que ela fornece uma visão sistêmica de toda a cadeia de suprimento. Possibilita entender o seu funcionamento ao longo do tempo, a rápida identificação de gargalos, verificar as interfaces e inter-relações entre os processos de negócio. A simulação permite uma análise individual e integrada dos componentes do sistema.

A proposta, então, foi desenvolver uma metodologia baseada na modelagem e simulação computacional da cadeia de suprimento, e na definição de indicadores adequados para avaliar o seu desempenho.

Havia, no início do trabalho, uma certa preocupação quanto ao uso do simulador a eventos discretos para abordagem de um problema envolvendo fluxo contínuo, no caso, as operações de produtos em tanques de armazenamento. Mas o conjunto de módulos de fluxo contínuo presentes no software Arena se mostrou bastante eficaz para a modelagem desse tipo de operação.

Um outro desafio encontrado foi quanto à estrutura do modelo. Os modelos foram estruturados de modo que o usuário pudesse alterar o maior número de parâmetros possível, utilizando uma interface amigável (uma planilha excel). Porém, dependendo do tipo de estudo, se faz necessário alterar a lógica do modelo. Foi o que aconteceu, por exemplo, nos estudos envolvendo inclusão ou alteração de tanques.

Alguns pontos da metodologia podem ser destacados como cruciais para o sucesso do projeto:

- **Definição do problema:** a definição do problema – finalidade do projeto, objetivos pretendidos, escopo – vai nortear todo o desenvolvimento do projeto;
- **Desenvolvimento do modelo conceitual:** nesta fase se define a estrutura conceitual do modelo, ou seja, os elementos mais críticos, os principais processos do sistema, as premissas e as simplificações que serão adotadas;
- **Definição dos indicadores de desempenho:** é preciso definir as métricas necessárias para a que a análise do sistema seja bem feita, os indicadores devem fornecer respostas adequadas aos objetivos da avaliação.

Um bom planejamento do projeto, com atenção especial para as três etapas citadas acima, e com a participação efetiva dos representantes da cadeia durante todo o processo, são fundamentais para a eficácia da metodologia na obtenção dos resultados desejados.

Os resultados obtidos nos experimentos se mostraram coerentes, e permitiram análises interessantes de cenários e de configurações alternativas para a cadeia de suprimento. Os experimentos foram projetados para mostrar a capacidade de atendimento da cadeia, para identificar os gargalos operacionais e de infra-estrutura e para apresentar alternativas aos problemas evidenciados.

Entre as conclusões que se pode chegar a respeito da cadeia de suprimento, levando-se em conta as premissas e simplificações adotadas, destacamos as seguintes:

- A configuração atual da cadeia já começa a apresentar para o chamado cenário base alguma ineficiência operacional, com um nível de serviço em torno de 98%, que ainda é tolerável, mas não ideal para um produto especial. Na medida em que a demanda pelo produto aumenta, a ineficiência vai se acentuando, evidenciando os seus gargalos operacionais e de infra-estrutura.
- Nota-se que a cadeia de suprimento está desbalanceada: enquanto o pólo de produção 1 se encontra sobrecarregado, o pólo de produção 2 apresenta grande folga.
- O principal gargalo operacional da configuração atual é o fato de se utilizar um único tanque no pólo de produção 1 para a formulação do produto.

- Outros gargalos importantes identificados nos estudos são: a utilização de apenas 1 bico de enchimento nos pontos da cadeia onde ocorrem carga e descarga de caminhões; a falta de tanques para armazenar os componentes externos (componentes 1 e 2) na refinaria 2; e a baixa vazão no recebimento do componente 4 durante a formulação do combustível na refinaria 2.
- Verificou-se que a colocação de mais um tanque para a formulação no pólo de produção 1 faz com que este pólo possa atender sozinho a toda a cadeia de suprimento, com excelente desempenho logístico e econômico. E com a “otimização da simulação”, foi possível verificar que esta configuração mantém um desempenho satisfatório até a demanda de 9.270 m<sup>3</sup>/mês do combustível especial.
- O componente 2, comprado no mercado, é o componente mais caro. Verificou-se que, se a empresa conseguir retirá-lo da composição do produto, o ganho econômico será grande, e o desempenho logístico se mantém no mesmo patamar.

Como estas, outras análises podem ser feitas a partir dos resultados obtidos nos experimentos. Tais análises fornecem subsídios para a empresa decidir sobre como os investimentos na cadeia de suprimento devem ser priorizados, para que os objetivos de curto, médio e longo prazos definidos para o produto sejam atingidos.

Portanto, a metodologia de análise proposta neste trabalho de dissertação pode ser uma importante ferramenta no apoio à tomada de decisão.

### **Recomendações para trabalhos futuros**

Como extensão deste trabalho, pode-se sugerir a reavaliação de alguns parâmetros de entrada do modelo e a realização de novos experimentos:

- Os tempos de viagem do transporte rodoviário dos produtos ao longo da cadeia foram tratados como variáveis estocásticas nos modelos, e a curva de distribuição utilizada foi a triangular. Um trabalho mais detalhado de acompanhamento e coleta desses tempos de viagem pode ser realizado, a fim de se obter as curvas de distribuição de probabilidade específicas destes transportes.
- O mesmo pode ser feito para os tempos de acoplamento dos caminhões nas baias dos terminais. No presente trabalho, a partir dos dados obtidos em um dos terminais, se chegou a uma curva de distribuição de probabilidade, que foi

utilizada para os demais terminais alterando-se apenas os seus parâmetros. Um trabalho de levantamento dos dados pode ser realizado para se obter as curvas de distribuição de cada terminal.

- Os tempos de homogeneização/certificação nos processos de formulação do combustível especial foram parametrizados no arquivo de entrada e tratados como variáveis determinísticas nos modelos. Isto foi feito porque se pretendia realizar estudos de sensibilidade da redução desses tempos sobre os resultados da cadeia. Para isso, seria necessário levantar o custo dessa redução; quanto custaria reduzir, por exemplo, em 1 hora o tempo de homogeneização /certificação em cada refinaria. Fica, então, como sugestão para trabalhos futuros o levantamento desses custos, e a realização de experimentos para avaliar o impacto da redução de cada hora no desempenho logístico da cadeia, apresentando também os valores correspondentes de EVA. Estes experimentos poderiam ser realizados com o auxílio do OptQuest, procurando-se inclusive otimizar os resultados.
- Nos estudos realizados neste trabalho, a política de estoques adotada para os terminais de distribuição é a que se pratica hoje pela distribuidora; novas políticas poderiam ser avaliadas na continuação dos trabalhos.
- Finalmente, uma outra sugestão para a continuação dos trabalhos é o estudo de sensibilidade da variação dos preços do combustível especial sobre a sua demanda. Para isso, seria necessário desenvolver um modelo estatístico de elasticidade preço-demanda, e integrá-lo ao arquivo de entrada do modelo de simulação. A área de marketing da empresa já está pensando neste modelo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGGARWAL, R. (2001). "Using economic profit to assess performance: A metric for modern firms". *Business Horizons*, v. 44, n. 1, pp. 55.
- AL-OTAIBI, G. A. e STEWART, M. D. (2004). "Simulation model determines optimal tank farm design". *Oil and Gas Journal*.
- ANDEL, T. (1998). "Forecastability is key to commodities". *Transportation & Distribution*, v. 39, n. 4, pp. SCF18.
- ANONYMOUS (2002). "How EVA exposes non-performers". *New Zealand Management*, v. 49, n. 7, pp. 24.
- APRIL, J., GLOVER, F., KELLY, J. P., *et al.* (2003). "Simulation-based optimization: practical introduction to simulation optimization". *Proceedings of 2003 Winter Simulation Conference*, New Orleans, Louisiana, USA.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LOGÍSTICA (2007). <http://www.aslog.org.br/>.
- BANKS, J. (1999). "Introduction to simulation". *Proceedings of 1999 Winter Simulation Conference*, Atlanta, USA.
- BANKS, J., CARSON, J. S. e NELSON, B. L. (1984). *Discrete-Event System Simulation*. New Jersey, Prentice-Hall Inc.
- BANKS, J., CARSON, J. S., NELSON, B. L., *et al.* (2004). *Discrete-Event System Simulation*. New Jersey, Prentice-Hall Inc., 4th ed.
- BEAMON, B. M. (1999). "Measuring supply chain performance". *International Journal of Operations & Production Management*, v. 19, n. 3, pp. 275.
- BEVERS, G. (2002). "The good, bad and ugly of major oil consolidation and the downstream supply chain... 'wet' and paper". *NPN, National Petroleum News*, v. 94, n. 13, pp. 54.
- BOWERSOX, D. J. e CLOSS, D. J. (2001). *Logística Empresarial: o Processo de Integração da cadeia de suprimento*. São Paulo, Editora Atlas.
- BOWERSOX, D. J. e DAUGHERTY, P. J. (1992). "Logistics leadership - Logistics organizations of the future". *Logistics Information Management*, v. 5, n. 1, pp. 12.
- CARSON, J. S. (2005). "Introduction to Modeling". *Proceedings of 2005 Winter Simulation Conference*, Orlando, FL, USA.
- CAVANHA FILHO, A. O. (2000). "Definição do Council of Logistics Management, após o Congresso Internacional de Logística – 1999 – Canadá" In: *Logística: Novos Modelos*. São Paulo, Qualitymark.
- CENTER FOR WORLD WIDE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT (2007). *University of Louisville*, <http://louisville.edu/org/upsi/>.

- CHAN, A. (2006). *Simulação aplicada às operações logísticas de um parque de armazenamento de gasolina de uma refinaria de petróleo*. Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CHEN, E. J., LEE, Y. M. e SELIKSON (2002). "A simulation study of logistics activities in a chemical plant". *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 10, n. 3-4, pp. 235-245.
- CHENG, L. e DURAN, M. (2004). "Logistics for world-wide crude oil transportation using discrete event simulation and optimal control". *Computers & Chemical Engineering*, v. 28, n. 6-7, pp. 897-911.
- CHIKAN, A. (2001). "Integration of production and logistics - In principle, in practice and in education". *International Journal of Production Economics*, v. 69, n. 2, pp. 129.
- COKINS, G. (2007). "Performance management: Creating Economic Value". *Industrial Management*, v. 49, n. 2, pp. 14.
- COOPER, M. C., LAMBERT, D. M. e PAGH, J. D. (1997). "Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics". *The International Journal of Logistics Management*, v. 8, n. 1, pp. 1-13.
- COSTA, M. A. B. (2001). "Pesquisa Operacional Aplicada à Agroindústria" In: *Gestão Agroindustrial*. Coord. M.O. Batalha, Atlas.
- COSTA, M. A. B. (2004). *Um modelo baseado em conhecimento para simular rebanhos de bovinos de corte*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- COX, J. F., BLACKSTONE, J. H. e SPENCER, M. S. (1995). *APICS Dictionary*. A. P. A. I. C. SOCIETY, Falls Church.
- CROOKES, J. G. (1982). "Simulation in 1981". *North-Holland Publishing Company, European Journal of Operational Research*, v. 9, pp. 1-7.
- FERRAES NETO, F. e KUEHNE JR, M. (2002). "Logística Empresarial" In: *Coleção Gestão Empresarial*. Curitiba, Fae Business School / Ed. Gazeta do Povo.
- FERREIRA, A. B. H. (1986). *Novo Dicionário da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira. v. 1, pp. 1045.
- FIESP (2006). <http://apps.fiesp.com.br/qualidade/mainqlos.htm>.
- FLEURY, P. F., FIGUEIREDO, K. F. e WANKE, P. (2000). *Logística Empresarial*. Rio de Janeiro, Atlas.
- FREITAS FILHO, P. J. (2001). *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas – Com aplicações em Arena*. Florianópolis - SC, Visual Books.
- GIMENEZ, C. e VENTURA, E. (2005). "Logistics-production, logistics-marketing and external integration: Their impact on performance". *International Journal of Operations & Production Management*, v. 25, n. 1, pp. 20.

- GLOVER, F. (1995). "Scatter Search and Star-Paths: Beyond the Genetic Metaphor". *OR Spektrum*, v. 17, pp. 125-137.
- HARPERCOLLINS (2005). *Collins Gem Webster's Dictionary*, HarperCollins Publishers. v. 1, pp. 640.
- HATCH, J. E., MANNING, J. e MCCARTNEY, J. (2001). "Note on Economic Value Added". *Richard Ivey School of Business Case Collection*.
- HILLIER, F. e LIEBERMAN, G. J. (2001). *Introduction to operations research*, McGraw-Hill, 7th Edition.
- INGALLS, R. G. (1998). "The value of simulation in modeling supply chains". *Proceedings of Winter Simulation Conference*, Washington, USA, pp. 1371-1375.
- JONES, A. (2001). "Vendor managed inventory - A successful initiative". *Logistics and Transport Focus*, v. 3, n. 5, pp. 31.
- KERCKOFFS, E. J. H. e VANSTEENKISTE, G. C. (1986). "The impact of advanced information processing on simulation – an illustrative review". *Simulation*, v. 46, n. 1, pp. 17-26.
- KEYS, D. E., AZAMHUZJAEV, M. e MACKEY, J. (2001). "Economic value added: A critical analysis". *The Journal of Corporate Accounting & Finance*, v. 12, n. 2, pp. 65.
- KOTZAB, H., SKJOLDAGER, N. e VINUM, T. (2003). "The development and empirical validation of an e-based supply chain strategy optimization model". *Industrial Management + Data Systems*, v. 103, n. 5/6, pp. 347.
- LAMBERT, D. M. (2004). "THE EIGHT ESSENTIAL SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROCESSES". *Supply Chain Management Review*, v. 8, n. 6, pp. 18.
- LAMBERT, D. M., COOPER, M. C. e PAGH, J. D. (1998). "Supply chain management: Implementation issues and research opportunities". *International Journal of Logistics Management*, v. 9, n. 2, pp. 1.
- LAMBERT, D. M. e STOCK, J. R. (1992). *Strategic Logistics Management*. USA, Irwin/McGraw-Hill, 3ª Edição.
- LAW, A. e KELTON, W. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill International Series, Third Edition.
- LEE, Y. H., CHO, M. K. e KIM, Y. B. (2002). "Supply chain simulation with discrete-continuous combined modeling". *Computers and Industrial Engineering*, pp. 43.
- LIMOEIRO, C. D. P., SILVA, N. D. M. D. e PEREIRA, L. R. (2001). "Modelo de determinação dos parâmetros de estoques em bases de distribuição de combustíveis". *XXXIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.
- LONDE, B. L. (2004). "Metrics Matter". *Supply Chain Management Review*, v. 8, n. 4, pp. 9.

- LUMMUS, R. R. e VOKURKA, R. J. (1999). "Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines". *Industrial Management & Data Systems*, MCB University Press, v. 1, pp. 11-17.
- MARTI, R., LAGUNA, M. e GLOVER, F. (2006). "Principles of scatter search". *European Journal of Operational Research*, v. 169, n. 2, pp. 359.
- MEHTA, A. (2004). "Managing oil and gas supply chain - Numerous challenges, one solution". *IIE Annual Conference and Exhibition*, pp. 4675-4688.
- MOBERG, C. R., WHIPPLE, T. W., CUTLER, B. D., *et al.* (2004). "Do the Management Components of Supply Chain Management Affect Logistics Performance?" *International Journal of Logistics Management*, v. 15, n. 2, pp. 15.
- MONCZKA, R. M. e MORGAN, J. P. (2000). "Why economic value add needs to be measured". *Purchasing*, v. 129, n. 2, pp. 77.
- NIKOUKARAN, J., HLUPIC, V. e PAUL, R. J. (1998). "Criteria for simulation software evaluation". *Proceedings of 1998 Winter Simulation Conference*, Washington, USA, pp. 399-406.
- NOVACK, R. A., RINEHART, L. M. e WELLS, M. V. (1992). "Rethinking Concept Foundations in Logistics Management". *Journal of Business Logistics*, v. 13, n. 2, pp. 233.
- NOVAES, A. G. (2001). *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação*. Rio de Janeiro, Campus.
- PARRA, P. H. e PIRES, S. R. I. (2003). "Análise da Gestão da cadeia de suprimentos na Indústria de Computadores". *Gestão e Produção*, v. 10, n. 1, pp. 15.
- PEDGEN, C. D. (1991). *Introduction to Simulation Using SIMAN*, McGraw-Hill International Editions.
- PERSSON, F. e OLHAGER, J. (2002). "Performance simulation of supply chain designs". *International Journal of Production Economics*, v. 77, n. 3, pp. 231-245.
- PIDD, M. (1993). *Computer Simulation in Management Science*, Wiley, 3rd edition.
- PIRES, S., BREMER, C., SANTA EULÁLIA, L., *et al.* (2001). "Supply chain and virtual enterprises: comparisons, migration and a case study". *International Journal of Logistics: Research and Applications*, v. 4, n. 3.
- POHLEN, T. L. e COLEMAN, B. J. (2005). "Evaluating Internal Operations and Supply Chain Performance Using EVA and ABC". *S.A.M. Advanced Management Journal*, v. 70, n. 2, pp. 45.
- POIRIER, C. C. e REITER, S. E. (1997). *Otimizando sua rede de negócios*. São Paulo, Futura.
- REDDY, R. (1987). "Epistemology of knowledge-based simulation". *Simulation*, v. 48, n. 4, pp. 162-166.
- RICHARDSON, H. L. (2003). "Does your supply chain deliver value?" *Transportation & Distribution*, v. 44, n. 3, pp. 58.

- RICHARDSON, H. L. (2005). "Building a better SUPPLY CHAIN". *Logistics Today*, v. 46, n. 4, pp. 17.
- RICHARDSON, H. L. (2006). "Is your supply chain at risk?" *Logistics Today*, v. 47, n. 4, pp. 1.
- RINCON, G., ALVAREZ, M., PEREZ, M., *et al.* (2005). "A discrete-event simulation and continuous software evaluation on a systemic quality model: An oil industry case". *Information & Management*, v. 42, n. 8, pp. 1051.
- RODRIGUES, A. M. e SALIBY, E. (1998). *A aplicação da simulação no dimensionamento de bases de distribuição de combustíveis*, COPPEAD, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SALIBY, E. (1999). *Tecnologia de informação: uso da simulação para obtenção de melhorias em operações logísticas*. Rio de Janeiro, COPPEAD, UFRJ.
- SARGENT, R. G. (2003). "Verification and validation: verification and validation of simulation models". *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, New Orleans, Louisiana, USA.
- SCHUNK, D. e PLOTT, B. (2000). "Using simulation to analyze supply chains". *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, Orlando, FL, USA, pp. 1095- 1100.
- SHANNON, R. E. (1975). *Systems Simulation: The Art and Science*, Prentice-Hall Inc.
- SPEH, T. W. e NOVACK, R. A. (1995). "The management of financial resources in logistics". *Journal of Business Logistics*, v. 16, n. 2, pp. 23.
- STANLEY, P. (2002). "Is EVA fiction?" *AFP Exchange*, v. 22, n. 4, pp. 52.
- TORRES, I. (2001). *Integração de ferramentas computacionais aplicadas ao projeto e desenvolvimento de arranjo físico de instalações industriais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.
- YOUNG, S. D. e O'BYRNE, S. F. (2001). *EVA and Value-Based Management - A Practical Guide to Implementation*. New York, McGraw-Hill, 1.
- ZEE, D. J. V. D. e VORST, J. G. A. J. V. D. (2005). "A Modeling Framework for Supply Chain Simulation: Opportunities for Improved Decision Making". *Decision Sciences*, v. 36, n. 1, pp. 65.
- ZIMMER, K. (2002). "Supply chain coordination with uncertain just-in-time delivery". *International Journal of Production Economics*, v. 77, n. 1, pp. 15.

## **APÊNDICES**

## Apêndice A Glossário

Termo	Descrição
Acumuladores	São variáveis que permitem medir o desempenho do sistema. Possuem esse nome porque acumulam valores no tempo. Esses valores recebem tratamento e geram as estatísticas da simulação.
Arena	Simulador a eventos discretos de uso comercial da <i>Rockwell Software</i> .
Atividade	É uma seqüência de procedimentos que causa mudança no sistema. A atividade corresponde a um estado ativo, comum a uma ou mais entidades. A duração de uma atividade pode ser determinística ou estocástica. Assume-se que uma atividade é indivisível. Uma vez iniciada, ela não é mais interrompida. Segundo REDDY, 1987, as atividades podem ser físicas ou cognitivas. As físicas são as formas convencionais de atividades, em torno das quais a simulação tem sido desenvolvida. As cognitivas são formas de tomada de decisão racional e inteligente. Da mesma forma que as atividades físicas, as atividades cognitivas possuem tempo finito de duração, que pode ser aleatório ou dependente das informações e/ou decisões do sistema.
Atributos	São as propriedades que caracterizam cada entidade. Os atributos possuem escopo local, ou seja, cada entidade possui um conjunto particular de valores para seus atributos.
Cenário	Uma configuração estruturada de parâmetros (dados de entrada) e de entidades do sistema. Pode-se construir vários cenários para testar várias hipóteses.
Corrida	Também chamada de rodada, é o intervalo de tempo compreendido entre o início e o fim da replicação.
Derivados de Petróleo	Produtos decorrentes da transformação do petróleo
Distribuição	Atividade de comercialização por atacado com a rede varejista ou com grandes consumidoras de combustíveis, lubrificantes, asfaltos e gás liquefeito envasado, exercida por empresas especializadas, na forma das leis e regulamentos aplicáveis. A atividade de distribuição compreende a aquisição, armazenamento, transporte, comercialização e o controle de qualidade dos combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível e outros combustíveis automotivos.
Distribuidora	Agente cuja atividade caracteriza-se pela aquisição de produtos a granel e sua revenda a granel (por atacado) para a rede varejista ou grandes consumidores (vide Distribuição).
Entidade	Também chamada de transação, é um elemento essencial para o modelo. Cada tipo de entidade (pessoa, objeto ou informação) possui um ciclo de vida, onde estados ativos e passivos se alternam. Uma entidade pode ser classificada como temporária ou permanente. As entidades temporárias entram no sistema, percorrem o seu ciclo de vida e o abandonam. As entidades permanentes executam a sua função sem abandonar o sistema. A chegada de entidades é gerada por um procedimento externo de acordo com a necessidade imposta pelo estado do sistema. Na visão da simulação discreta convencional, as entidades temporárias são criadas primeiro. Elas participam de atividades e

	requisitam recursos. Uma vez terminada a atividade, a entidade é removida (COSTA, 2004).
Eventos	As atividades são iniciadas e terminadas por eventos. Eventos são instantes no tempo, enquanto atividades possuem durações no tempo. Evento é o ponto no tempo no qual acontece alguma mudança no sistema modelado. O processamento de um evento é realizado por uma rotina. Normalmente a ocorrência de um evento dispara a ocorrência de outros eventos. Da mesma forma que as atividades, os eventos podem ser físicos ou cognitivos. As rotinas associadas aos eventos físicos são análogas às rotinas dos eventos tradicionais da simulação discreta. Os eventos cognitivos envolvem processamento de conhecimento, análogo ao procedimento cognitivo desempenhado pelo tomador de decisão. Rotinas de eventos cognitivos irão conter conhecimentos, representados por regras de produção e heurísticas, que serão processados quando uma decisão precisar ser tomada (REDDY, 1987).
Filas	São locais de espera onde as entidades dinâmicas aguardam sua vez de seguir através do sistema. As filas podem ser chamadas de áreas de espera ou pulmões ( <i>buffers</i> ). Depois de dar entrada na fila a entidade é retirada seguindo algum tipo de critério, por exemplo, FIFO ( <i>First In First Out</i> ), LIFO ( <i>Last In Last Out</i> ), HVF ( <i>Highest Value First</i> ), LVF ( <i>Lowest Value First</i> ) ou um critério aleatório.
Gasolina	Produto refinado do petróleo, onde a faixa de destilação se situa normalmente entre 30° e 220°C e que, combinado ou não com certos aditivos, é utilizado como combustível em motores de ignição por centelha. Este termo também é aplicado à nafta.
Heurística	Conjunto de regras e métodos que conduzem à descoberta, à invenção e à resolução de problemas.[Cf. heureka. ]. Metodologia, ou algoritmo, usada para resolver problemas por métodos que, embora não rigorosos, geralmente refletem o conhecimento humano e permitem obter uma solução satisfatória.
Indústria do Petróleo	Conjunto de atividades econômicas relacionadas com a exploração, desenvolvimento, produção, refino, processamento, transporte, importação e exportação de petróleo, gás natural e outros hidrocarbonetos fluidos e seus derivados.
Meta-heurísticas	Também chamadas de métodos de solução de problemas inteligentemente flexíveis, pois caracterizam-se por serem estratégias que buscam, da melhor maneira possível, utilizar técnicas já existentes como heurísticas especializadas juntamente com um conhecimento prévio do problema, a fim de varrer, de forma mais eficiente, o espaço de busca, ora determinado como conjunto de soluções viáveis.
Modelo	É a representação de um sistema. Existem várias formas de se classificar modelos. COSTA, 2001 apresenta uma explanação sintética, segundo a qual os modelos são tipificados como icônicos (representação fiel do sistema, geralmente em escala diferente da real), analógicos (as propriedades do sistema são representadas por outras equivalentes) e simbólicos (as propriedades do sistema são representadas por símbolos). Outro tipo de classificação separa os modelos em estáticos e dinâmicos. Os modelos estáticos não consideram explicitamente a variável tempo e são, normalmente, tratados por técnicas analíticas. Os

	<p>modelos dinâmicos tratam com interações que se alteram no tempo (o estudo do sistema em um certo instante interfere no estado do sistema no instante seguinte). Também existe uma caracterização importante para os modelos, que diz respeito às situações discreta e contínua. Um modelo discreto sofre alterações repentinas no tempo. As mudanças no estado do sistema são expressas em termos do estado do sistema no início do período. As mudanças durante um intervalo de tempo são calculadas e é deduzido um novo estado do sistema para o final deste período e início do seguinte. Um modelo contínuo sofre constantes e suaves alterações no tempo. Uma situação bastante comum é tratar um sistema contínuo como sendo uma seqüência de pequenas alterações discretas no tempo. Por fim, também são diferenciados os modelos determinísticos dos estocásticos. Os modelos determinísticos não tratam variáveis aleatórias e envolvem relações funcionais exatas. Quando pelo menos uma variável do sistema recebe valores segundo uma distribuição probabilística, diz-se tratar de um modelo estocástico (COSTA, 2004).</p>
OptQuest	Ferramenta de otimização de uso comercial criado pela OptTek Systems, Inc., que vem integrada ao simulador Arena.
Petróleo	Todo e qualquer hidrocarboneto líquido em seu estado natural, a exemplo do óleo cru e condensado.
Recurso	É uma entidade estática do modelo que atende entidades dinâmicas. Esse atendimento pode ser feito simultaneamente a várias entidades. Uma entidade pode solicitar parte da capacidade ou a capacidade total do recurso (TORRES, 2001).
Relógio	É uma variável que marca o tempo da simulação.
Replicação	É a execução do modelo no computador.
Tanque de armazenamento	Reservatório especialmente construído para acumulação de petróleo ou seus derivados.
terminal	Conjunto de instalações utilizadas para o recebimento, expedição e armazenagem de produtos da indústria do petróleo. Pode ser classificado como marítimo, fluvial, lacustre ou terrestre.
terminal de Distribuição	É a instalação com as facilidades necessárias ao recebimento, armazenamento, mistura, embalagem e distribuição, em uma dada área do mercado, de derivados de petróleo.
Variáveis de estado	É o conjunto de variáveis que identificam o estado do sistema em um determinado instante de tempo. Segundo FREITAS FILHO, 2001, as variáveis de estado constituem o conjunto de informações necessárias à compreensão do que está ocorrendo no sistema num determinado instante no tempo, com relação aos objetos de estudo.

## Apêndice B Memórias de cálculo do EVA

### B.1 Despesas de Movimentação de Produtos

TABELA B.1: FRETES DE TRANSFERÊNCIA PARA OS TERMINAIS DE DISTRIBUIÇÃO

Transferências (m<sup>3</sup>)

Dados	Mês						Total geral
	1	2	3	10	11	12	
Terminal F	900	990	450	960	1.560	1.050	10.290
Terminal C	1.665	1.350	1.620	1.530	2.733	2.174	21.649
Terminal D	90	180	180	180	225	270	2.385
Terminal E	180	135	135	135	180	135	1.800

Transferências (R\$/m<sup>3</sup>)

Dados	Mês						Total geral
	1	2	3	10	11	12	
Terminal F	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Terminal C	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Terminal D	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00
Terminal E	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00

Transferências (R\$)

Dados	Mês						Total geral
	1	2	3	10	11	12	
Terminal F	18.000,00	19.800,00	9.000,00	19.200,00	31.200,00	21.000,00	205.800
Terminal C	41.625,00	33.750,00	40.500,00	38.250,00	68.335,06	54.353,69	541.227
Terminal D	9.900,00	19.800,00	19.800,00	19.800,00	24.750,00	29.700,00	262.350
Terminal E	14.400,00	10.800,00	10.800,00	10.800,00	14.400,00	10.800,00	144.000

Transferências (R\$)

G. Vendas 1		Fator Rateio	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Total geral
Fator Rateio Terminal C	0,302		12.588	10.207	12.248	11.568	20.666	16.438	163.680
Fator Rateio Terminal D	0,164		1.628	3.257	3.257	3.257	4.071	4.685	43.154
Fator Rateio Terminal E	1,000		14.400	10.800	10.800	10.800	14.400	10.800	144.000
<b>Total</b>			<b>28.617</b>	<b>24.264</b>	<b>26.305</b>	<b>25.625</b>	<b>39.137</b>	<b>32.123</b>	<b>350.834</b>
G. Vendas 2		Fator Rateio	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Total geral
Fator Rateio Terminal D	0,836		8.272	16.543	16.543	16.543	20.679	24.815	219.196
Fator Rateio Terminal C	0,661		27.525	22.317	26.781	25.293	45.187	35.942	357.889
<b>Total</b>			<b>35.796</b>	<b>38.860</b>	<b>43.324</b>	<b>41.836</b>	<b>65.866</b>	<b>60.756</b>	<b>577.086</b>
G. Vendas 3		Fator Rateio	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Total geral
Fator Rateio Terminal F	1,0000		18.000	19.800	9.000	19.200	31.200	21.000	205.800
Fator Rateio Terminal C	0,0363		1.512	1.226	1.471	1.389	2.482	1.974	19.657
<b>Total</b>			<b>19.512</b>	<b>21.026</b>	<b>10.471</b>	<b>20.589</b>	<b>33.682</b>	<b>22.974</b>	<b>225.457</b>

TABELA B.2: FRETES DE DISTRIBUIÇÃO PARA O MERCADO

Distribuição - volume vendido - (m3)

Dados	Mês						Total geral
	1	2	3	10	11	12	
Terminal A SP	193	153	199	201	132	231	2.033
Terminal F ES	62	58	61	63	67	85	774
Terminal F RJ	806	833	932	917	964	1.122	10.709
Terminal F MG	153	120	140	145	183	142	1.703
Terminal C MS	22	16	20	22	19	18	233
Terminal C MG	63	52	53	46	71	55	638
Terminal C PR	233	203	246	211	272	259	2.807
Terminal C SC	372	333	311	319	383	410	3.815
Terminal C SP	1.250	1.325	1.735	1.768	1.946	2.237	20.153
Terminal D DF	145	151	174	148	165	180	1.896
Terminal D GO	40	46	36	46	44	44	504
Terminal D MT	48	56	62	74	81	76	823
Terminal E RS	225	163	166	161	138	180	1.895

Distribuição - volume vendido - (R\$/m3)

Dados	Mês						Total geral
	1	2	3	10	11	12	
Terminal A SP	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Terminal F ES	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00
Terminal F RJ	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
Terminal F MG	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Terminal C MS	375,00	375,00	375,00	375,00	375,00	375,00	375,00
Terminal C MG	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00
Terminal C PR	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00
Terminal C SC	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00
Terminal C SP	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Terminal D DF	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Terminal D GO	47,00	47,00	47,00	47,00	47,00	47,00	47,00
Terminal D MT	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Terminal E RS	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00

Distribuição - volume vendido - (R\$)

Dados	Mês						Total geral
	1	2	3	10	11	12	
<b>Terminal A SP</b>	<b>5.802,64</b>	<b>4.593,31</b>	<b>5.974,98</b>	<b>6.022,72</b>	<b>3.971,26</b>	<b>6.928,09</b>	<b>61.002,28</b>
Terminal F ES	1.670,51	1.577,59	1.635,57	1.711,27	1.803,30	2.295,58	20.901,32
Terminal F RJ	12.903,70	13.329,26	14.911,18	14.678,31	15.420,52	17.958,33	171.348,22
Terminal F MG	3.674,43	2.870,56	3.348,59	3.491,61	4.394,54	3.413,65	40.865,60
<b>Terminal F</b>	<b>18.248,63</b>	<b>17.777,41</b>	<b>19.895,34</b>	<b>19.881,18</b>	<b>21.618,35</b>	<b>23.667,56</b>	<b>233.115,13</b>
Terminal C MS	8.422,75	5.846,58	7.461,31	8.159,64	7.251,05	6.600,48	87.250,05
Terminal C MG	8.143,54	6.771,93	6.909,33	6.014,00	9.179,01	7.183,33	82.952,99
Terminal C PR	24.480,89	21.334,72	25.795,00	22.133,82	28.528,92	27.183,50	294.786,07
Terminal C SC	48.349,09	43.231,23	40.427,19	41.468,20	49.839,16	53.320,63	495.990,16
Terminal C SP	37.500,42	39.748,58	52.063,05	53.039,96	58.386,95	67.119,08	604.596,37
<b>Terminal C</b>	<b>126.896,70</b>	<b>116.933,04</b>	<b>132.655,88</b>	<b>130.815,62</b>	<b>153.185,09</b>	<b>161.407,03</b>	<b>1.565.575,64</b>
Terminal D DF	1.450,34	1.508,42	1.743,28	1.484,29	1.651,31	1.803,76	18.960,85
Terminal D GO	1.881,47	2.171,83	1.689,77	2.180,34	2.046,96	2.045,17	23.696,36
Terminal D MT	14.512,70	16.947,81	18.714,78	22.097,33	24.228,62	22.780,32	246.911,08
<b>Terminal D</b>	<b>17.844,51</b>	<b>20.628,07</b>	<b>22.147,83</b>	<b>25.761,96</b>	<b>27.926,90</b>	<b>26.629,25</b>	<b>289.568,29</b>
<b>Terminal E RS</b>	<b>11.236,90</b>	<b>8.165,74</b>	<b>8.323,10</b>	<b>8.071,57</b>	<b>6.895,12</b>	<b>8.977,63</b>	<b>94.763,73</b>

Distribuição - volume vendido - (R\$)

G. Vendas 1		Fator Rateio	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Total geral
Fator Rateio Terminal C	0,302	38.377	35.363	40.118	39.562	46.327	48.813	473.469	
Fator Rateio Terminal D	0,164	2.935	3.393	3.643	4.238	4.594	4.380	47.631	
Fator Rateio Terminal E	1,000	11.237	8.166	8.323	8.072	6.895	8.978	94.764	
<b>Total</b>		<b>52.549</b>	<b>46.922</b>	<b>52.085</b>	<b>51.871</b>	<b>57.816</b>	<b>62.171</b>	<b>615.864</b>	
G. Vendas 2		Fator Rateio	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Total geral
Fator Rateio Terminal D	0,836	14.909	17.235	18.505	21.524	23.333	22.249	241.937	
Fator Rateio Terminal A	1,000	5.803	4.593	5.975	6.023	3.971	6.928	61.002	
Fator Rateio Terminal C	0,661	83.911	77.323	87.719	86.503	101.295	106.731	1.035.246	
<b>Total</b>		<b>104.623</b>	<b>99.151</b>	<b>112.199</b>	<b>114.050</b>	<b>128.599</b>	<b>135.908</b>	<b>1.338.185</b>	
G. Vendas 3		Fator Rateio	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Total geral
Fator Rateio Terminal F	1,0000	18.249	17.777	19.895	19.881	21.618	23.668	233.115	
Fator Rateio Terminal C	0,0363	4.609	4.247	4.818	4.751	5.564	5.862	56.861	
<b>Total</b>		<b>22.857</b>	<b>22.024</b>	<b>24.713</b>	<b>24.632</b>	<b>27.182</b>	<b>29.530</b>	<b>289.976</b>	

## B.2 Estoques

TABELA B.3: CÁLCULO DOS ESTOQUES PARA AS REFINARIAS 1 E 2

Refinaria 1									
Volume m3		jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média	
Componente 1		520	546	544	548	541	546	543	
Produto A		942	1.321	1.429	1.456	1.426	1.374	1.365	
Componente 2 (Term B)		683	622	603	455	326	260	486	
<b>TOTAL</b>		<b>2.306</b>	<b>2.738</b>	<b>2.760</b>	<b>2.595</b>	<b>2.449</b>	<b>2.166</b>	<b>783</b>	
Volume p/ Corrente m3		Formulação %	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média
<b>Produto A</b>		<b>70,0%</b>	942	1.321	1.429	1.456	1.426	1.374	1.365
Componente 1		56,0%	753	1.057	1.144	1.165	1.141	1.099	1.092
Componente 5		10,5%	141	198	214	218	214	206	205
Componente 6		3,5%	47	66	71	73	71	69	68
<b>Componente 2</b>		<b>30,0%</b>	404	566	613	624	611	589	585
Terminal B (Comp. 2)			683	622	603	455	326	260	486
Componente 1			520	546	544	548	541	546	543
<b>TOTAL</b>			<b>2.548</b>	<b>3.055</b>	<b>3.189</b>	<b>3.082</b>	<b>2.904</b>	<b>2.769</b>	<b>2.979</b>
Custo Oportunidade p/ Corrente		jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média	
<b>Produto A</b>		450	450	450	450	450	450	450	
Componente 1		400	400	400	400	400	400	400	
Componente 5		650	650	650	650	650	650	650	
Componente 6		950	950	950	950	950	950	950	
<b>Componente 2</b>		<b>602</b>							
<b>Custo de Oportunidade</b>		<b>602</b>							
Valor Financeiro p/ Corrente (R\$)		jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média	
<b>Produto A</b>		426.162	597.743	646.825	658.700	645.137	621.674	617.551	
Componente 1		339.046	475.552	514.601	524.049	513.258	494.591	491.312	
Componente 5		56.508	79.259	85.767	87.341	85.543	82.432	81.885	
Componente 6		30.608	42.932	46.457	47.310	46.336	44.651	44.355	
<b>Componente 2</b>		<b>383.445</b>	<b>537.827</b>	<b>581.989</b>	<b>592.674</b>	<b>580.470</b>	<b>559.359</b>	<b>555.650</b>	
Terminal B (Comp. 2)		648.758	591.036	572.911	432.250	309.700	247.460	462.119	
Componente 1		234.072	245.646	244.801	246.396	243.612	245.612	244.337	
<b>Estoque Total Refinaria 1 (R\$)</b>		<b>1.692.437</b>	<b>1.972.251</b>	<b>2.046.527</b>	<b>1.930.020</b>	<b>1.778.920</b>	<b>1.674.106</b>	<b>1.879.657</b>	

Refinaria 2									
Volume m3		jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média	
Estoque C. Especial A (tanque formulação)		1.229	967	1.271	1.101	1.496	1.577	1.093	
<b>Volume Médio Mês</b>		<b>1.229</b>	<b>967</b>	<b>1.271</b>	<b>1.101</b>	<b>1.496</b>	<b>1.577</b>	<b>1.093</b>	
Volume p/ Corrente m3		Formulação %	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média
Componente 1		25,0%	307	242	318	275	374	394	273
Componente 2		5,0%	61	48	64	55	75	79	55
Componente 3		50,0%	615	483	636	551	748	788	547
Componente 4		20,0%	246	193	254	220	299	315	219
<b>TOTAL</b>			<b>1.229</b>	<b>967</b>	<b>1.271</b>	<b>1.101</b>	<b>1.496</b>	<b>1.577</b>	<b>1.093</b>
Custo Oportunidade p/ Corrente		jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média	
Componente 1		500	500	500	500	500	500	500	
Componente 2		900	900	900	900	900	900	900	
Componente 3		500	500	500	500	500	500	500	
Componente 4		400	400	400	400	400	400	400	
<b>Custo de Oportunidade</b>		<b>500</b>							
Valor Financeiro p/ Corrente R\$		jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média	
Componente 1		153.679	120.852	158.898	137.658	187.048	197.077	136.648	
Componente 2		55.324	43.507	57.203	49.557	67.337	70.948	49.193	
Componente 3		307.358	241.704	317.796	275.316	374.095	394.155	273.296	
Componente 4		98.355	77.345	101.695	88.101	119.710	126.130	87.455	
<b>Estoque Total Refinaria 2 (R\$)</b>		<b>614.716</b>	<b>483.407</b>	<b>635.592</b>	<b>550.631</b>	<b>748.190</b>	<b>788.310</b>	<b>546.591</b>	

TABELA B.4: CÁLCULO DOS ESTOQUES DA DISTRIBUIDORA

Estoque Podium Distribuidora								
Volume m3	Origem	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média
Terminal C	Refinaria 1	1.027	916	796	1.109	1.449	1.382	993
Terminal D	Refinaria 1	146	101	88	123	131	121	112
Terminal E	Refinaria 1	128	59	64	77	71	72	60
Terminal F	Refinaria 2	1.276	1.101	1.462	1.289	1.350	1.216	1.211
<b>TOTAL</b>		<b>2.577</b>	<b>2.176</b>	<b>2.410</b>	<b>2.598</b>	<b>3.001</b>	<b>2.791</b>	<b>594</b>
Preço Aquisição (C. Especial A)	Origem	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média
Refinaria 1		1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350
Refinaria 2		1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
Estoque (R\$)	Origem	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média
Terminal C	Refinaria 1	1.366.265	1.236.487	1.074.588	1.496.958	1.955.788	1.866.281	1.341.094
Terminal D	Refinaria 1	196.986	135.724	118.923	166.199	177.157	163.477	150.671
Terminal E	Refinaria 1	172.967	80.164	85.959	103.764	95.340	96.829	81.095
Terminal F	Refinaria 2	1.658.431	1.430.687	1.900.812	1.676.083	1.755.639	1.580.886	1.574.087
<b>TOTAL</b>		<b>3.414.649</b>	<b>2.883.062</b>	<b>3.180.282</b>	<b>3.443.004</b>	<b>3.983.925</b>	<b>3.707.474</b>	<b>786.737</b>
GAT 1	Fator Rateio	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média
Fator Rateio Terminal C	0,305	422.917	377.223	327.832	456.687	596.666	569.359	409.137
Fator Rateio Terminal D	0,172	33.789	23.281	20.399	28.508	30.388	28.041	25.845
Fator Rateio Terminal E	1,000	172.967	80.164	85.959	103.764	95.340	96.829	81.095
<b>Total</b>		<b>629.674</b>	<b>480.668</b>	<b>434.189</b>	<b>588.959</b>	<b>722.394</b>	<b>694.230</b>	<b>516.076</b>
GAT 2	Fator Rateio	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média
Fator Rateio Terminal D	0,828	163.197	112.443	98.524	137.691	146.770	135.436	124.827
Fator Rateio Terminal A	1,000							
Fator Rateio Terminal C	0,660	914.766	815.930	709.097	987.810	1.290.581	1.231.518	884.958
<b>Total</b>		<b>1.077.963</b>	<b>928.374</b>	<b>807.621</b>	<b>1.125.501</b>	<b>1.437.351</b>	<b>1.366.954</b>	<b>1.009.785</b>
GAT 3	Fator Rateio	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07	Média
Fator Rateio Terminal F	1,000	1.658.431	1.430.687	1.900.812	1.676.083	1.755.639	1.580.886	1.574.087
Fator Rateio Terminal C	0,034	47.183	42.086	36.575	50.951	66.568	63.521	45.646
<b>Total</b>		<b>1.705.614</b>	<b>1.472.773</b>	<b>1.937.387</b>	<b>1.727.034</b>	<b>1.822.207</b>	<b>1.644.408</b>	<b>1.619.733</b>

### B.3 Investimentos em ativos de longo prazo

TABELA B.5: CÁLCULO DOS INVESTIMENTOS EM TANCAGEM

Refinaria 1	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07
Tancagem existente (m3)	2.684	2.684	2.684	2.684	2.684	2.684
Tancagem nova (m3)	0	0	0	0	0	0
Aluguel Tanques / m3	23	23	23	23	23	23
Investimento Tancagem / m3	0	0	0	0	0	0
<b>Investimentos (tanques)</b>	<b>61.721</b>	<b>61.721</b>	<b>61.721</b>	<b>61.721</b>	<b>61.721</b>	<b>61.721</b>
Gerência de Vendas 1	jan/07	fev/07	mar/07	out/07	nov/07	dez/07
Tancagem existente (m3)	996	996	996	996	996	996
Tancagem nova (m3)	0	0	0	0	0	0
Aluguel Tanques / m3	23	23	23	23	23	23
Investimento Tancagem / m3	0	0	0	0	0	0
<b>Investimentos (tanques)</b>	<b>22.906</b>	<b>22.906</b>	<b>22.906</b>	<b>22.906</b>	<b>22.906</b>	<b>22.906</b>

TABELA B.6: CÁLCULO DOS NOVOS INVESTIMENTOS EM BICOS DE CARREGAMENTO

Tancagem e vazão dos produtos												
Local	Refinaria 1	Term. B	Refinaria 2	Term. A	Term. C	Term. D	Term. E	Term. F				
Produto	P. Produto A	Comp. 1	Comp. 2	P. Especial	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 2 P. Especial					
Baixas (bicos)	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	
Investimentos (R\$)	-	-	-	-	-	-	-	100.000	-	-	-	
Investimento por bico (R\$)												
	100.000											
Investimentos por GAT (R\$)												
G. Vendas 1	Fator	Investimentos										
Terminal C	0,305	30.508										
Terminal D	0,172	-										
Terminal E	1,000	-										
		30.508										
G. Vendas 2												
Terminal D	0,828	-										
Terminal A	1,000	-										
Terminal C	0,660	65.988										
		65.988										
G. Vendas 3												
Terminal F	1,000	-										
Terminal C	0,034	3.404										
		3.404										

## Apêndice C Indicadores de desempenho obtidos em experimentos de análise da cadeia<sup>18</sup>

### C.1 Cenário sem o componente 2

TABELA C.1: EVA DETALHADO - CENÁRIO SEM O COMPONENTE 2 - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

Combustível Especial - NOPAT, Capital e EVA (R\$)								
	Refinaria 1	Refinaria 2	Acumulado Empresa	G. Vendas 1	G. Vendas 2	G. Vendas 3	Acumulado Distribuidora	Acumulado Total
Margem Líquida Média (R\$/m <sup>3</sup> )	23	29	25	93	74	73	78	102
Volume Médio (m <sup>3</sup> )	2.246	805	3.051	894	1.909	1.188	3.991	-
<b>NOPAT</b>	620.204	278.652	<b>898.856</b>	997.255	1.688.944	1.046.887	<b>3.733.087</b>	<b>4.631.943</b>
<b>Capital</b>	431.542	315.993	<b>747.535</b>	607.328	1.234.963	1.801.675	<b>3.643.966</b>	<b>4.391.501</b>
<b>EVA (Somatório Realizado)</b>	568.419	240.733	<b>809.151</b>	924.376	1.540.749	830.686	<b>3.295.811</b>	<b>4.104.963</b>

TABELA C.2: NÍVEIS DE SERVIÇO - CENÁRIO SEM O COMPONENTE 2 - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

Terminais/Regiões	N. Serviço Méd. - Venda
Terminal A SP	64,1%
Terminal C MS	100,0%
Terminal C MG	100,0%
Terminal C PR	100,0%
Terminal C SC	100,0%
Terminal C SP	100,0%
Terminal C Total	100,0%
Terminal D DF	100,0%
Terminal D GO	100,0%
Terminal D MT	100,0%
Terminal D Total	100,0%
Terminal E RS	97,6%
Terminal F ES	100,0%
Terminal F MG	100,0%
Terminal F RJ	100,0%
Terminal F Total	100,0%
<b>Total</b>	<b>98,44%</b>

<sup>18</sup> Neste apêndice, são apresentados os principais indicadores obtidos para as 4 configurações estudadas na seção 7.1.2, para uma demanda média de 4.000 m<sup>3</sup>/mês. Os indicadores são referentes à última replicação da respectiva corrida de simulação.

Tanques de G. Podium				Capacidade	Venda Dia Média	Estoque Dia Médio	Dias de Estoque
		Faixa Verde	Faixa Amarela	Faixa Vermelha			
Terminal C	LS (M3)	1.600	600	100	2.000	75,76	941
	Utilização (M3)	341 (acima)	1.936 (abaixo)	0 (abaixo)			
	Nº de Dias	5 (acima)	32 (abaixo)	0 (abaixo)			
Terminal D	LS (M3)	250	50	25	500	8,75	111
	Utilização (M3)	0 (acima)	57 (abaixo)	0 (abaixo)			
	Nº de Dias	0 (acima)	6 (abaixo)	0 (abaixo)			
Terminal E	LS (M3)	180	30	15	300	5,05	57
	Utilização (M3)	18 (acima)	1.336 (abaixo)	381 (abaixo)			
	Nº de Dias	3 (acima)	89 (abaixo)	42 (abaixo)			
Terminal F	LS (M3)	1.620	720	90	1.800	36,32	1.200
	Utilização (M3)	640 (acima)	102 (abaixo)	0 (abaixo)			
	Nº de Dias	17 (acima)	2 (abaixo)	0 (abaixo)			

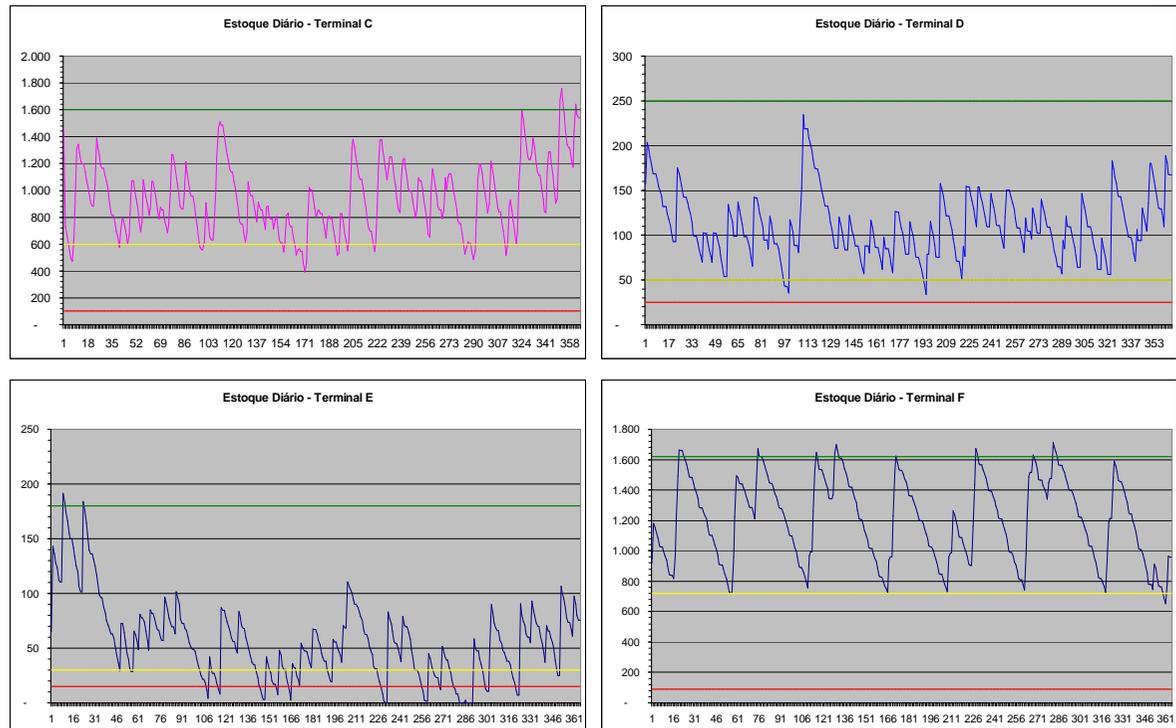


FIGURA C.1: ANÁLISE POR FAIXA DE ESTOQUE DOS TANQUES DOS TERMINAIS DE DISTRIBUIÇÃO - CENÁRIO SEM O COMPONENTE 2 - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

TABELA C.3: CUSTOS LOGÍSTICOS - CENÁRIO SEM O COMPONENTE 2 - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

Produção de GP			
Centro	Volume (M3)	C. Oport. (R\$/M3)	C. Oport. (R\$)
Refinaria 1	27.498,64	453	12.443.134
Refinaria 2	9.956,12	475	4.729.155
<b>Total</b>	<b>37.455</b>		<b>17.172.290</b>

Transferências				
Centro	Terminal	Volume (M3)	Frete Transf. (R\$/M3)	Frete Transf. (R\$)
Refinaria 1	Terminal C	21.399	25	534.964
	Terminal D	2.340	110	257.400
	Terminal E	1.755	80	140.400
	<b>Total</b>	<b>25.494</b>		<b>932.764</b>
Refinaria 2	Terminal F	9.660	20	193.200
	<b>Total</b>	<b>9.660</b>		<b>193.200</b>
<b>Total</b>		<b>35.154</b>		<b>1.125.964</b>

Tancagem / Estoques							
Centro/ Terminal	Produto	Tacagem (M3)	C. Tancagem (R\$/m3)	C. Tancagem (R\$)	Est. Médio (M3)	C. Financ. (R\$/M3)	C. Financ. (R\$)
Refinaria 1	Comp 1	761	276	210.165	697	54	37.638
	Produto A	2.625	276	724.500	1.420	54	77.121
Terminal A	Comp 2	-	276	-	-	54	-
	P. Especial	1.500	276	414.000	1.021	57	58.186
Terminal B	Comp 2	-	276	-	-	114	-
Terminal C	P. Especial	2.000	276	552.000	941	154	144.778
Terminal D	P. Especial	500	276	138.000	111	154	17.010
Terminal E	P. Especial	300	276	82.800	57	154	8.724
<b>Total</b>		<b>7.686</b>		<b>2.121.465</b>	<b>4.246</b>		<b>343.456</b>
Refinaria 2	P. Especial	5.000	300	1.500.000	1.104	57	62.913
Terminal F	P. Especial	1.800	300	540.000	1.200	156	187.271
<b>Total</b>		<b>6.800</b>		<b>2.040.000</b>	<b>2.304</b>		<b>250.184</b>
<b>Total</b>		<b>14.486</b>		<b>4.161.465</b>	<b>6.550</b>		<b>593.640</b>

Distribuição							
Terminal	Região	Demanda (M3)	Frete Distr. (R\$/M3)	Frete Distr. (R\$)	N. Serv.	P. Venda (R\$/M3)	C. Perda Venda (R\$)
Terminal A	São Paulo	1.945	30	58.352	64,1%	2.000	1.396.181
	<b>Total</b>	<b>1.945</b>		<b>58.352</b>			<b>1.396.181</b>
Terminal C	Mato Grosso do Sul	234	375	87.820	100,0%	2.110	0
	Minas Gerais	646	130	83.983	100,0%	2.050	0
	Paraná	2.778	105	291.701	100,0%	2.035	0
	Santa Catarina	3.819	130	496.476	100,0%	2.043	0
	São Paulo	20.184	30	605.515	100,0%	2.032	0
	<b>Total</b>	<b>27.661</b>		<b>1.565.496</b>			<b>0</b>
Terminal D	Brasília	1.897	10	18.967	100,0%	2.025	0
	Goiás	508	47	23.894	100,0%	2.035	0
	Mato Grosso	787	300	236.148	100,0%	2.085	0
	<b>Total</b>	<b>3.192</b>		<b>279.010</b>			<b>0</b>
Terminal E	Rio Grande do Sul	1.836	50	91.818	97,6%	2.095	91.736
	<b>Total</b>	<b>1.836</b>		<b>91.818</b>			<b>91.736</b>
Terminal F	Espírito San	771	27	20.825	100,0%	1.995	0
	Minas Gerais	1.761	24	42.259	100,0%	1.956	0
	Rio de Janeiro	10.728	16	171.651	100,0%	1.985	0
	<b>Total</b>	<b>13.260</b>		<b>234.735</b>			<b>0</b>
<b>Total</b>		<b>47.895</b>		<b>2.229.412</b>	<b>98,4%</b>		<b>1.487.917</b>

Resumo dos custos logísticos (R\$)		
C. Oport.		17.172.290
<b>C. Prod.</b>	64,1%	<b>17.172.290</b>
Frete Transf.	11,7%	1.125.964
C. Tancagem	43,4%	4.161.465
C. Financ. Estoque	6,2%	593.640
Frete Distr.	23,2%	2.229.412
C. Perda de venda	15,5%	1.487.917
<b>C. Logísticos</b>	35,9%	<b>9.598.398</b>
<b>Custos Totais</b>	100,0%	<b>26.770.688</b>

## C.2 Cenário sem a refinaria 2 (a)

TABELA C.4: EVA DETALHADO - CENÁRIO SEM A REFINARIA 2 (A) - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

Combustível Especial - NOPAT, Capital e EVA (R\$)								
	Refinaria 1	Refinaria 2	Acumulado Empresa	G. Vendas 1	G. Vendas 2	G. Vendas 3	Acumulado Distribuidora	Acumulado Total
<b>Margem Líquida Média (R\$/m3)</b>	23	0	23	59	40	74	55	78
<b>Volume Médio (m3)</b>	2.906	0	2.906	901	1.908	1.191	3.999	-
<b>NOPAT</b>	801.593	0	801.593	638.631	919.717	1.062.573	2.620.922	3.422.515
<b>Capital</b>	1.454.613	0	1.454.613	707.701	1.317.571	941.325	2.966.596	4.421.210
<b>EVA (Somatório Realizado)</b>	627.040	0	627.040	553.707	761.609	949.614	2.264.930	2.891.970

TABELA C.5: NÍVEIS DE SERVIÇO - CENÁRIO SEM A REFINARIA 2 (A) - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

Terminais/Regiões	N. Serviço Méd. - Venda
Terminal A SP	35,1%
Terminal C MS	100,0%
Terminal C MG	100,0%
Terminal C PR	100,0%
Terminal C SC	100,0%
Terminal C SP	100,0%
Terminal C Total	100,0%
Terminal D DF	100,0%
Terminal D GO	100,0%
Terminal D MT	100,0%
Terminal D Total	100,0%
Terminal E RS	100,0%
Terminal F ES	100,0%
Terminal F MG	100,0%
Terminal F RJ	99,8%
Terminal F Total	99,8%
<b>Total</b>	<b>97,29%</b>

Tanques de C. Especial				Capacidade	Venda Dia Média	Estoque Dia Médio	Dias de Estoque
		Faixa Verde	Faixa Amarela	Faixa Vermelha			
<b>Terminal C</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	1.600 0 (acima) 0 (acima)	400 3.996 (abaixo) 41 (abaixo)	100 0 (abaixo) 0 (abaixo)	2.000	75,60	653 8,64
<b>Terminal D</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	400 107 (acima) 8 (acima)	150 0 (abaixo) 0 (abaixo)	25 0 (abaixo) 0 (abaixo)	500	8,79	347 39,48
<b>Terminal E</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	240 0 (acima) 0 (acima)	90 27 (abaixo) 4 (abaixo)	15 0 (abaixo) 0 (abaixo)	300	5,30	158 29,75
<b>Terminal F</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	1.440 0 (acima) 0 (acima)	270 6.101 (abaixo) 78 (abaixo)	90 304 (abaixo) 8 (abaixo)	1.800	36,42	543 14,91

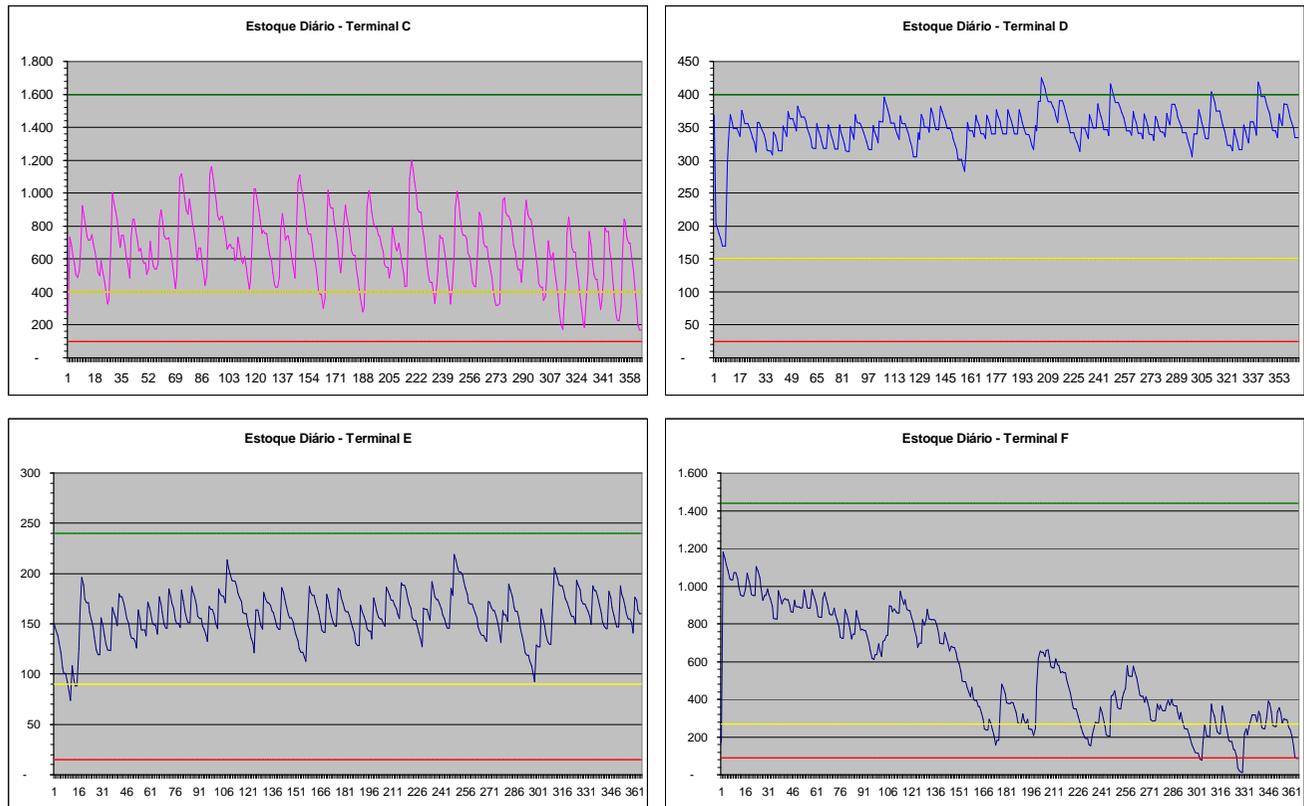


FIGURA C.2: ANÁLISE POR FAIXA DE ESTOQUE DOS TANQUES DOS TERMINAIS DE DISTRIBUIÇÃO - CENÁRIO SEM A REFINARIA 2 (A) - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

TABELA C.6: CUSTOS LOGÍSTICOS - CENÁRIO SEM A REFINARIA 2 (A) - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

Produção do C. Especial			
Centro	Volume (M3)	C. Oport. (R\$/M3)	C. Oport. (R\$)
Refinaria 1	36.332,36	602	21.862.995
Refinaria 2	-	500	-
<b>Total</b>	<b>36.332</b>		<b>21.862.995</b>

Transferências							
Centro	Terminal	Volume (M3)	Distâncias (km)	Tempo de viagem (h)	Qtde caminhões	Frete Transf. (R\$/M3)	Frete Transf. (R\$)
Refinaria 1	Terminal C	19.980	54	1,35	444	25	499.500
	Terminal D	2.520	1.055	26,38	56	110	277.200
	Terminal E	1.935	1.042	26,05	43	80	154.800
	<b>Total</b>	<b>24.435</b>	<b>235</b>	<b>5,89</b>	<b>543</b>		<b>931.500</b>
Refinaria 2	Terminal F	8.820	1	0,03	196	20	176.400
	<b>Total</b>	<b>8.820</b>	<b>1</b>	<b>0,03</b>	<b>196</b>		<b>176.400</b>
<b>Total</b>		<b>33.255</b>	<b>173</b>	<b>4,33</b>	<b>739</b>		<b>1.107.900</b>

Tancagem / Estoques							
Centro/ Terminal	Produto	Tancagem (M3)	C. Tancagem (R\$/m3)	C. Tancagem (R\$)	Est. Médio (M3)	C. Financ. (R\$/M3)	C. Financ. (R\$)
Refinaria 1	Comp 1	592	276	163.325	544	54,0	29.351
	Produto A	1.838	276	507.150	1.371	54,3	74.450
Terminal A	Comp 2	1.000	276	276.000	728	114	82.938
	P. Especial	1.500	276	414.000	1.098	72	79.262
Terminal B	Comp 2	1.500	276	414.000	723	114	82.465
Terminal C	P. Especial	2.000	276	552.000	653	162	105.763
Terminal D	P. Especial	500	276	138.000	347	162	56.230
Terminal E	P. Especial	300	276	82.800	158	162	25.554
<b>Total</b>		<b>9.229</b>		<b>2.547.275</b>	<b>5.621</b>		<b>536.012</b>
Refinaria 2	P. Especial	-	300	-	-	60	-
Terminal F	P. Especial	1.800	300	540.000	543	156	84.710
<b>Total</b>		<b>1.800</b>		<b>540.000</b>	<b>543</b>		<b>84.710</b>
<b>Total</b>		<b>11.029</b>		<b>3.087.275</b>	<b>6.164</b>		<b>620.722</b>

Distribuição							
Terminal	Região	Demanda (M3)	Frete Distr. (R\$/M3)	Frete Distr. (R\$)	N. Serv.	P. Venda (R\$/M3)	C. Perda Venda (R\$)
Terminal A	São Paulo	1.997	30	59.916	35,1%	2.000	2.590.617
	<b>Total</b>	<b>1.997</b>		<b>59.916</b>			<b>2.590.617</b>
Terminal C	Mato Grosso do Sul	241	375	90.391	100,0%	2.110	0
	Minas Gerais	630	130	81.885	100,0%	2.050	0
	Paraná	2.791	105	293.091	100,0%	2.035	0
	Santa Catarina	3.851	130	500.659	100,0%	2.043	0
	São Paulo	20.076	30	602.275	100,0%	2.032	0
	<b>Total</b>	<b>27.589</b>		<b>1.568.301</b>			<b>0</b>
Terminal D	Brasília	1.884	10	18.844	100,0%	2.025	0
	Goiás	504	47	23.695	100,0%	2.035	0
	Mato Grosso	821	300	246.199	100,0%	2.085	0
	<b>Total</b>	<b>3.209</b>		<b>288.738</b>			<b>0</b>
Terminal E	Rio Grande do Sul	1.935	50	96.757	100,0%	2.095	0
	<b>Total</b>	<b>1.935</b>		<b>96.757</b>			<b>0</b>
Terminal F	Espírito San	748	27	20.200	100,0%	1.995	0
	Minas Gerais	1.721	24	41.292	100,0%	1.956	0
	Rio de Janeiro	10.866	16	173.857	99,8%	1.985	51.063
	<b>Total</b>	<b>13.335</b>		<b>235.350</b>			<b>51.063</b>
<b>Total</b>		<b>48.066</b>		<b>2.249.062</b>	<b>97,3%</b>		<b>2.641.680</b>

Resumo dos custos logísticos (R\$)		
C. Oport.		21.862.995
<b>C. Prod.</b>	<b>69,3%</b>	<b>21.862.995</b>
Frete Transf.	11,4%	1.107.900
C. Tancagem	31,8%	3.087.275
C. Financ. Estoque	6,4%	620.722
Frete Distr.	23,2%	2.249.062
C. Perda de venda	27,2%	2.641.680
<b>C. Logísticos</b>	<b>30,7%</b>	<b>9.706.639</b>
<b>Custos Totais</b>	<b>100,0%</b>	<b>31.569.634</b>

### C.3 Cenário sem a refinaria 2 (b)

TABELA C.7: EVA DETALHADO - CENÁRIO SEM A REFINARIA 2 (B) - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

Combustível Especial - NOPAT, Capital e EVA (R\$)								
	Refinaria 1	Refinaria 2	Acumulado Empresa	G. Vendas 1	G. Vendas 2	G. Vendas 3	Acumulado Distribuidora	Acumulado Total
<b>Margem Líquida Média (R\$/m3)</b>	23	0	23	59	40	73	54	77
<b>Volume Médio (m3)</b>	3.054	0	3.054	906	1.924	1.176	4.006	-
<b>NOPAT</b>	838.056	0	838.056	642.899	929.744	1.034.961	2.607.604	3.445.660
<b>Capital</b>	692.993	0	692.993	727.941	1.419.357	844.147	2.991.445	3.684.438
<b>EVA (Somatório Realizado)</b>	754.897	0	754.897	555.546	759.421	933.664	2.248.631	3.003.528

TABELA C.8: NÍVEIS DE SERVIÇO - CENÁRIO SEM A REFINARIA 2 (B) - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

Terminais/Regiões	N. Serviço Méd. - Venda
Terminal A SP	100,0%
Terminal C MS	100,0%
Terminal C MG	100,0%
Terminal C PR	100,0%
Terminal C SC	100,0%
Terminal C SP	100,0%
Terminal C Total	100,0%
Terminal D DF	100,0%
Terminal D GO	100,0%
Terminal D MT	100,0%
Terminal D Total	100,0%
Terminal E RS	100,0%
Terminal F ES	100,0%
Terminal F MG	100,0%
Terminal F RJ	100,0%
Terminal F Total	100,0%
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>

Tanques de C. Especial				Capacidade	Venda Dia Média	Estoque Dia Médio	Dias de Estoque
		Faixa Verde	Faixa Amarela	Faixa Vermelha			
<b>Terminal C</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	1.600 3.066 (acima) 11 (acima)	400 0 (abaixo) 0 (abaixo)	100 0 (abaixo) 0 (abaixo)	2.000	76,02	1,013
<b>Terminal D</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	400 0 (acima) 0 (acima)	75 94 (abaixo) 16 (abaixo)	25 0 (abaixo) 0 (abaixo)	500	8,94	131
<b>Terminal E</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	240 129 (acima) 7 (acima)	30 23 (abaixo) 4 (abaixo)	15 0 (abaixo) 0 (abaixo)	300	5,33	100
<b>Terminal F</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	1.440 0 (acima) 0 (acima)	270 0 (abaixo) 0 (abaixo)	90 0 (abaixo) 0 (abaixo)	1.800	35,91	461

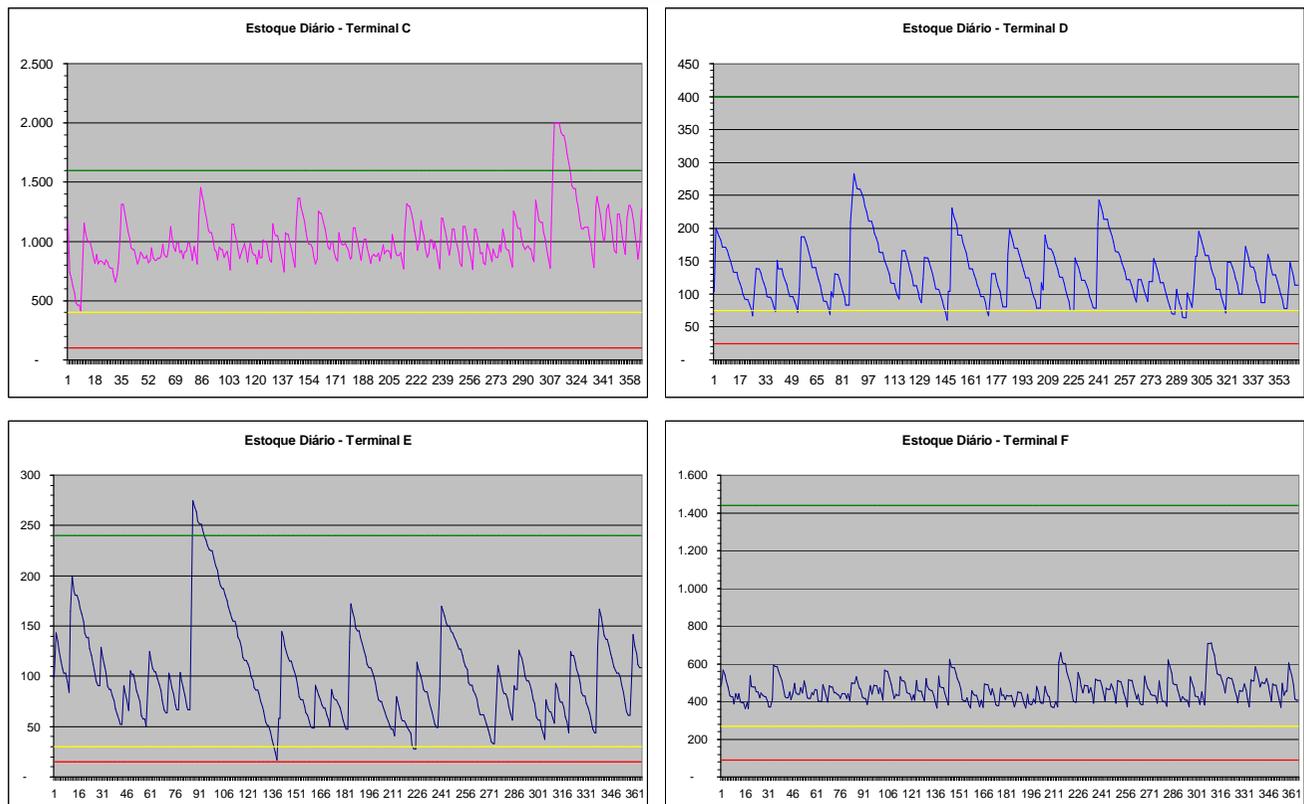


FIGURA C.3: ANÁLISE POR FAIXA DE ESTOQUE DOS TANQUES DOS TERMINAIS DE DISTRIBUIÇÃO - CENÁRIO SEM A REFINARIA 2 (B) - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

TABELA C.9: CUSTOS LOGÍSTICOS - CENÁRIO SEM A REFINARIA 2 (B) - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

Produção do C. Especial			
Centro	Volume (M3)	C. Oport. (R\$/M3)	C. Oport. (R\$)
Refinaria 1	37.077,00	602	22.311.084
Refinaria 2	-	500	-
<b>Total</b>	<b>37.077</b>		<b>22.311.084</b>

Transferências							
Centro	Terminal	Volume (M3)	Distâncias (km)	Tempo de viagem (h)	Onde caminhões	Frete Transf. (R\$/M3)	Frete Transf. (R\$)
Refinaria 1	Terminal C	21.195	54	1,35	471	25	529.875
	Terminal D	2.340	1.055	26,38	52	110	257.400
	Terminal E	1.890	1.042	26,05	42	80	151.200
	<b>Total</b>	<b>25.425</b>	<b>220</b>	<b>5,49</b>	<b>565</b>		<b>938.475</b>
Refinaria 2	Terminal F	9.600	1	0,03	213	20	192.000
	<b>Total</b>	<b>9.600</b>	<b>1</b>	<b>0,03</b>	<b>213</b>		<b>192.000</b>
<b>Total</b>		<b>35.025</b>	<b>160</b>	<b>3,99</b>	<b>778</b>		<b>1.130.475</b>

Tancagem / Estoques							
Centro/ Terminal	Produto	Tancagem (M3)	C. Tancagem (R\$/m3)	C. Tancagem (R\$)	Est. Médio (M3)	C. Financ. (R\$/M3)	C. Financ. (R\$)
Refinaria 1	Comp 1	592	276	163.325	543	54,0	29.333
	Produto A	1.838	276	507.150	1.120	54,3	60.796
Terminal A	Comp 2	2.000	276	552.000	1.161	114	132.360
	P. Especial	1.500	276	414.000	904	72	65.263
Terminal B	Comp 2	1.500	276	414.000	120	114	13.729
Terminal C	P. Especial	2.000	276	552.000	1.013	162	164.057
Terminal D	P. Especial	500	276	138.000	131	162	21.298
Terminal E	P. Especial	300	276	82.800	100	162	16.221
<b>Total</b>		<b>10.229</b>		<b>2.823.275</b>	<b>5.093</b>		<b>503.077</b>
Refinaria 2	P. Especial	-	300	-	-	60	-
Terminal F	P. Especial	1.800	300	540.000	461	156	71.964
<b>Total</b>		<b>1.800</b>		<b>540.000</b>	<b>461</b>		<b>71.964</b>
<b>Total</b>		<b>12.029</b>		<b>3.363.275</b>	<b>5.554</b>		<b>575.040</b>

Distribuição							
Terminal	Região	Demanda (M3)	Frete Distr. (R\$/M3)	Frete Distr. (R\$)	N. Serv.	P. Venda (R\$/M3)	C. Perda Venda (R\$)
Terminal A	São Paulo	2.016	30	60.473	100,0%	2.000	0
	<b>Total</b>	<b>2.016</b>		<b>60.473</b>			<b>0</b>
Terminal C	Mato Grosso do Sul	236	375	88.501	100,0%	2.110	0
	Minas Gerais	661	130	85.910	100,0%	2.050	0
	Paraná	2.632	105	297.392	100,0%	2.035	0
	Santa Catarina	3.825	130	497.234	100,0%	2.043	0
	São Paulo	20.203	30	606.081	100,0%	2.032	0
<b>Total</b>	<b>27.757</b>		<b>1.575.117</b>			<b>0</b>	
Terminal D	Brasília	1.921	10	19.209	100,0%	2.025	0
	Goiás	521	47	24.502	100,0%	2.035	0
	Mato Grosso	821	300	246.331	100,0%	2.085	0
	<b>Total</b>	<b>3.263</b>		<b>290.042</b>			<b>0</b>
Terminal E	Rio Grande do Sul	1.942	50	97.104	100,0%	2.095	0
	<b>Total</b>	<b>1.942</b>		<b>97.104</b>			<b>0</b>
Terminal F	Espírito San	765	27	20.842	100,0%	1.995	0
	Minas Gerais	1.743	24	41.823	100,0%	1.956	0
	Rio de Janeiro	10.594	16	169.497	100,0%	1.985	0
	<b>Total</b>	<b>13.101</b>		<b>231.962</b>			<b>0</b>
<b>Total</b>		<b>48.079</b>		<b>2.254.698</b>	<b>100,0%</b>		<b>0</b>

Resumo dos custos logísticos (R\$)		
C. Oport.		22.311.084
<b>C. Prod.</b>	<b>75,3%</b>	<b>22.311.084</b>
Frete Transf.	15,4%	1.130.475
C. Tancagem	45,9%	3.363.275
C. Financ. Estoque	7,9%	575.040
Frete Distr.	30,8%	2.254.698
C. Perda de venda	0,0%	0
<b>C. Logísticos</b>	<b>24,7%</b>	<b>7.323.489</b>
<b>Custos Totais</b>	<b>100,0%</b>	<b>29.634.573</b>

## C.4 Cenário Ampliação Total

TABELA C.10: EVA DETALHADO - CENÁRIO AMPLIAÇÃO TOTAL - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

Combustível Especial - NOPAT, Capital e EVA (R\$)								
	Refinaria 1	Refinaria 2	Acumulado Empresa	G. Vendas 1	G. Vendas 2	G. Vendas 3	Acumulado Distribuidora	Acumulado Total
<b>Margem Líquida Média (R\$/m<sup>3</sup>)</b>	23	23	23	59	40	73	54	77
<b>Volume Médio (m<sup>3</sup>)</b>	2.246	840	3.086	904	1.922	1.187	4.013	-
<b>NOPAT</b>	613.917	227.436	841.353	644.493	925.708	1.040.285	2.610.487	3.451.840
<b>Capital</b>	1.396.979	1.044.732	2.441.711	817.293	1.670.020	1.882.509	4.369.822	6.811.533
<b>EVA (Somatório Realizado)</b>	446.280	102.068	548.348	546.418	725.306	814.384	2.086.108	2.634.456

TABELA C.11: NÍVEIS DE SERVIÇO - CENÁRIO AMPLIAÇÃO TOTAL - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

Terminais/Regiões	N. Serviço Méd. - Venda
Terminal A SP	100,0%
Terminal C MS	100,0%
Terminal C MG	100,0%
Terminal C PR	100,0%
Terminal C SC	100,0%
Terminal C SP	100,0%
Terminal C Total	100,0%
Terminal D DF	100,0%
Terminal D GO	100,0%
Terminal D MT	100,0%
Terminal D Total	100,0%
Terminal E RS	100,0%
Terminal F ES	100,0%
Terminal F MG	100,0%
Terminal F RJ	100,0%
Terminal F Total	100,0%
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>

Tanques de C. Especial				Capacidade	Venda Dia Média	Estoque Dia Médio	Dias de Estoque
		Faixa Verde	Faixa Amarela	Faixa Vermelha			
<b>Terminal C</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	1.800 1.637 (acima) 12 (acima)	400 400 (abaixo) 1 (abaixo)	100 100 (abaixo) 1 (abaixo)	2.000	76,25	1,257
<b>Terminal D</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	400 0 (acima) 0 (acima)	75 75 (abaixo) 1 (abaixo)	25 25 (abaixo) 1 (abaixo)	500	8,78	163
<b>Terminal E</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	240 0 (acima) 0 (acima)	30 98 (abaixo) 13 (abaixo)	15 19 (abaixo) 2 (abaixo)	300	5,21	87
<b>Terminal F</b>	LS (M3) Utilização (M3) Nº de Dias	1.620 767 (acima) 19 (acima)	270 270 (abaixo) 1 (abaixo)	90 90 (abaixo) 1 (abaixo)	1.800	36,22	1,251

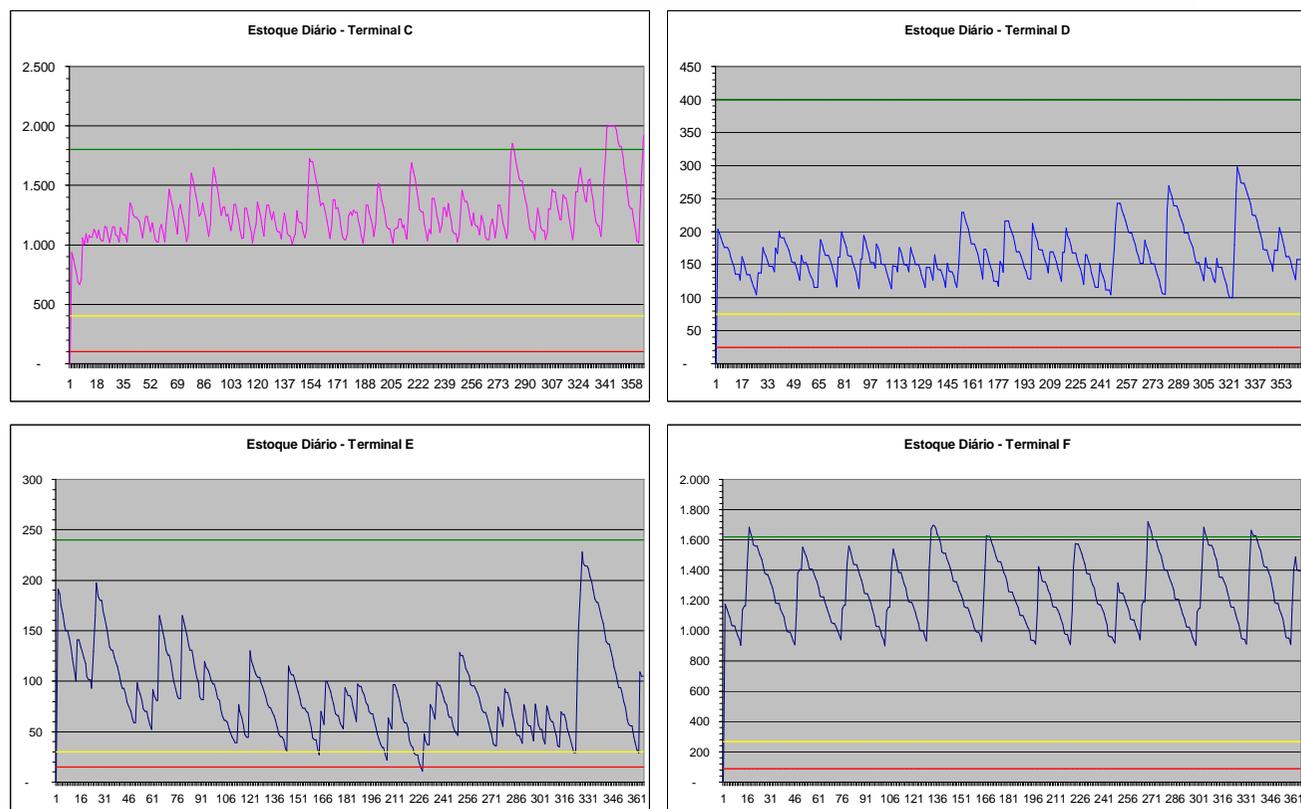


FIGURA C.4: ANÁLISE POR FAIXA DE ESTOQUE DOS TANQUES DOS TERMINAIS DE DISTRIBUIÇÃO - CENÁRIO AMPLIAÇÃO TOTAL - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

TABELA C.12: CUSTOS LOGÍSTICOS - CENÁRIO AMPLIAÇÃO TOTAL - 4000 M<sup>3</sup>/MÊS

Produção do C. Especial			
Centro	Volume (M3)	C. Oport. (R\$/M3)	C. Oport. (R\$)
Refinaria 1	26.950,00	602	16.217.162
Refinaria 2	-	500	-
<b>Total</b>	<b>26.950</b>		<b>16.217.162</b>

Transferências							
Centro	Terminal	Volume (M3)	Distâncias (km)	Tempo de viagem (h)	Otde caminhões	Frete Transf. (R\$/M3)	Frete Transf. (R\$)
Refinaria 1	Terminal C	21.690	54	1,35	482	25	542.250
	Terminal D	2.340	1.055	26,38	52	110	257.400
	Terminal E	1.800	1.042	26,05	40	80	144.000
	<b>Total</b>	<b>25.830</b>	<b>214</b>	<b>5,34</b>	<b>574</b>		<b>943.650</b>
Refinaria 2	Terminal F	10.080	1	0,03	224	20	201.600
	<b>Total</b>	<b>10.080</b>	<b>1</b>	<b>0,03</b>	<b>224</b>		<b>201.600</b>
<b>Total</b>		<b>35.910</b>	<b>154</b>	<b>3,05</b>	<b>798</b>		<b>1.145.250</b>

Tancagem / Estoques							
Centro/ Terminal	Produto	Tancagem (M3)	C. Tancagem (R\$/m3)	C. Tancagem (R\$)	Est. Médio (M3)	C. Financ. (R\$/M3)	C. Financ. (R\$)
Refinaria 1	Comp 1	592	276	163.325	542	54,0	29.251
	Produto A	1.838	276	507.150	1.547	54,3	84.010
Terminal A	Comp 2	2.000	276	552.000	1.251	114	142.597
	P. Especial	1.500	276	414.000	805	72	58.144
Terminal B	Comp 2	1.500	276	414.000	263	114	29.943
Terminal C	P. Especial	2.000	276	552.000	1.257	162	203.835
Terminal D	P. Especial	500	276	138.000	163	162	26.444
Terminal E	P. Especial	300	276	82.800	87	162	14.139
<b>Total</b>		<b>10.229</b>		<b>2.823.275</b>	<b>5.915</b>		<b>588.162</b>
Refinaria 2	P. Especial	5.000	300	1.500.000	-	60	-
Terminal F	P. Especial	1.800	300	540.000	1.251	156	195.146
<b>Total</b>		<b>6.800</b>		<b>2.040.000</b>	<b>1.251</b>		<b>195.146</b>
<b>Total</b>		<b>17.029</b>		<b>4.863.275</b>	<b>7.166</b>		<b>783.308</b>

Distribuição							
Terminal	Região	Demanda (M3)	Frete Distr. (R\$/M3)	Frete Distr. (R\$)	N. Serv.	P. Venda (R\$/M3)	C. Perda Venda (R\$)
Terminal A	São Paulo	1.989	30	59.672	100,00%	2.000	-
	<b>Total</b>	<b>1.989</b>		<b>59.672</b>			-
Terminal C	Mato Grosso do Sul	231	375	86.459	100,00%	2.110	-
	Minas Gerais	656	130	85.291	100,00%	2.050	-
	Paraná	2.739	105	287.611	100,00%	2.035	-
	Santa Catarina	3.855	130	501.100	100,00%	2.043	-
	São Paulo	20.349	30	610.482	100,00%	2.032	-
	<b>Total</b>	<b>27.830</b>		<b>1.570.942</b>			-
Terminal D	Brasília	1.889	10	18.885	100,00%	2.025	-
	Goiás	500	47	23.503	100,00%	2.035	-
	Mato Grosso	816	300	244.919	100,00%	2.085	-
	<b>Total</b>	<b>3.205</b>		<b>287.307</b>			-
Terminal E	Rio Grande do Sul	1.903	50	95.147	100,00%	2.095	-
	<b>Total</b>	<b>1.903</b>		<b>95.147</b>			-
Terminal F	Espirito San	784	27	21.189	100,00%	1.995	-
	Minas Gerais	1.727	24	41.439	100,00%	1.956	-
	Rio de Janeiro	10.708	16	171.331	100,00%	1.985	-
	<b>Total</b>	<b>13.219</b>		<b>233.939</b>			-
<b>Total</b>		<b>48.146</b>		<b>2.247.007</b>	<b>100,00%</b>		-

Resumo dos custos logísticos (R\$)		
C. Oport.		16.217.162
<b>C. Prod.</b>	64,2%	<b>16.217.162</b>
Frete Transf.	12,7%	1.145.250
C. Tancagem	53,8%	4.863.275
C. Financ. Estoque	8,7%	783.308
Frete Distr.	24,9%	2.247.007
C. Perda de venda	0,0%	-
<b>C. Logísticos</b>	<b>35,8%</b>	<b>9.038.840</b>
<b>Custos Totais</b>	<b>100,0%</b>	<b>25.256.003</b>

# Apêndice D Arquivo LOG do 1º experimento de otimização (as 10 melhores soluções encontradas)

D:\Documents and Settings\cmmo\Meus documentos\Mestrado\Dissertação\Modelos\Estudos paramétricos - OptQuest\ (1) Configuração atual\Dem 6000\Modelo base v7\_2.doe  
 14/03/2008 08:53:17  
 Objective: Max EVA Tot: [EVA\_TOT]

Simulation: 1 \*\*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*\*  
 14/03/2008 08:55:40  
 Number of Replications: 8  
 Std Dev = 34602,0693363438 Termination Reason = The objective value has met the confidence level.

Values of Decision Variables  
 NBaias\_Refin\_1\_Comp\_1: 1  
 NBaias\_Refin\_2\_Comp\_1: 1  
 NBaias\_Refin\_2\_Comp\_2: 1  
 NBaias\_Refin\_2\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_A\_PEsp: 4  
 NBaias\_Term\_C\_PEsp: 2  
 NBaias\_Term\_D\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_E\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_F\_PEsp: 1

Values of Output Variables  
 EVA\_Distribuidora: 3311091,8611271  
 EVA\_GAT1: 861823,840662357  
 EVA\_GAT2: 1119022,30214953  
 EVA\_GAT3: 1330245,71831522  
 EVA\_Produtora: 1118721,95811312  
 EVA\_Refin\_1: 756435,561700898  
 EVA\_Refin\_2: 362286,396412218  
 EVA\_TOT: 4429813,81924022  
 NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,43787229102213  
 NS\_Term\_C\_Med: 0,999621890810014  
 NS\_Term\_D\_Med: 0,983472758257364  
 NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,988456082510359  
 NS\_Term\_F\_Med: 0,99999999999567  
 NS\_TOTAL\_Med: 0,97475991943531

Max EVA Tot: 4458741,80970814(Best = 4458741,80970814)  
 NS Term C: NonLinear feasible  
 NS Term D: NonLinear feasible  
 NS Term E: NonLinear feasible  
 NS Term F: NonLinear feasible  
 NS Total: NonLinear infeasible

Simulation: 7 \*\*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*\*  
 14/03/2008 09:09:23  
 Number of Replications: 8  
 Std Dev = 43153,8511413565 Termination Reason = The objective value has met the confidence level.

Values of Decision Variables  
 NBaias\_Refin\_1\_Comp\_1: 1  
 NBaias\_Refin\_2\_Comp\_1: 1  
 NBaias\_Refin\_2\_Comp\_2: 1  
 NBaias\_Refin\_2\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_A\_PEsp: 3  
 NBaias\_Term\_C\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_D\_PEsp: 2  
 NBaias\_Term\_E\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_F\_PEsp: 1

Values of Output Variables  
 EVA\_Distribuidora: 3282522,75317128  
 EVA\_GAT1: 852634,293960342  
 EVA\_GAT2: 1112483,00057788  
 EVA\_GAT3: 1317405,45863305  
 EVA\_Produtora: 1128953,13989915  
 EVA\_Refin\_1: 765016,682469982  
 EVA\_Refin\_2: 363936,457429164  
 EVA\_TOT: 4411475,89307042  
 NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,430136986301036  
 NS\_Term\_C\_Med: 0,99336728277342  
 NS\_Term\_D\_Med: 0,981944860508092

NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,98004547113499  
 NS\_Term\_F\_Med: 0,99999999999602  
 NS\_TOTAL\_Med: 0,970235807319132

Max EVA Tot: 4467387,95010045(Best = 4467387,95010045)  
 NS Term C: NonLinear feasible  
 NS Term D: NonLinear feasible  
 NS Term E: NonLinear feasible  
 NS Term F: NonLinear feasible  
 NS Total: NonLinear infeasible

Simulation: 8 \*\*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*\*  
 14/03/2008 09:11:34  
 Number of Replications: 8  
 Std Dev = 18497,6440145573 Termination Reason = The objective value has met the confidence level.

Values of Decision Variables  
 NBaias\_Refin\_1\_Comp\_1: 1  
 NBaias\_Refin\_2\_Comp\_1: 2  
 NBaias\_Refin\_2\_Comp\_2: 2  
 NBaias\_Refin\_2\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_A\_PEsp: 3  
 NBaias\_Term\_C\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_D\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_E\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_F\_PEsp: 1

Values of Output Variables  
 EVA\_Distribuidora: 3312471,89055171  
 EVA\_GAT1: 860518,340534372  
 EVA\_GAT2: 1131203,95451284  
 EVA\_GAT3: 1320749,59550449  
 EVA\_Produtora: 1194375,68773216  
 EVA\_Refin\_1: 783834,866178602  
 EVA\_Refin\_2: 410540,821553555  
 EVA\_TOT: 4506847,57828386  
 NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,447029414177365  
 NS\_Term\_C\_Med: 0,99935131417877  
 NS\_Term\_D\_Med: 0,997669193829081  
 NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,98508942156545  
 NS\_Term\_F\_Med: 0,99999999999572  
 NS\_TOTAL\_Med: 0,976077348161535

Max EVA Tot: 4474009,59101464(Best = 4474009,59101464)  
 NS Term C: NonLinear feasible  
 NS Term D: NonLinear feasible  
 NS Term E: NonLinear feasible  
 NS Term F: NonLinear feasible  
 NS Total: NonLinear feasible

Simulation: 9 \*\*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*\*  
 14/03/2008 09:13:50  
 Number of Replications: 8  
 Std Dev = 28419,9909640612 Termination Reason = The objective value has met the confidence level.

Values of Decision Variables  
 NBaias\_Refin\_1\_Comp\_1: 1  
 NBaias\_Refin\_2\_Comp\_1: 2  
 NBaias\_Refin\_2\_Comp\_2: 1  
 NBaias\_Refin\_2\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_A\_PEsp: 3  
 NBaias\_Term\_C\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_D\_PEsp: 1  
 NBaias\_Term\_E\_PEsp: 2  
 NBaias\_Term\_F\_PEsp: 1

Values of Output Variables  
 EVA\_Distribuidora: 3374716,3260259  
 EVA\_GAT1: 853160,461449757  
 EVA\_GAT2: 1151330,74225922  
 EVA\_GAT3: 1370225,12231692  
 EVA\_Produtora: 1133016,41690325  
 EVA\_Refin\_1: 776931,085547213

EVA\_Refin\_2: 356085,331356039  
EVA\_TOT: 4507732,74292915  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,46869001318737  
NS\_Term\_C\_Med: 0,99999999999965  
NS\_Term\_D\_Med: 0,999999999999067  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,985664773868743  
NS\_Term\_F\_Med: 0,999999999999614  
NS\_TOTAL\_Med: 0,977224603554234

Max EVA Tot: 4479169,09239186(Best = 4479169,09239186)  
NS Term C: NonLinear feasible  
NS Term D: NonLinear feasible  
NS Term E: NonLinear feasible  
NS Term F: NonLinear feasible  
NS Total: NonLinear feasible

Simulation: 11 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*  
14/03/2008 09:18:46  
Number of Replications: 8  
Std Dev = 32433,854580873 Termination  
Reason = The objective value has met the confidence level.

Values of Decision Variables  
NBaias\_Refin\_1\_Comp\_1: 1  
NBaias\_Refin\_2\_Comp\_1: 1  
NBaias\_Refin\_2\_Comp\_2: 2  
NBaias\_Refin\_2\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_A\_PEsp: 3  
NBaias\_Term\_C\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_D\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_E\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_F\_PEsp: 1

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 3357259,11695699  
EVA\_GAT1: 868704,151708541  
EVA\_GAT2: 1144918,87908001  
EVA\_GAT3: 1343636,08616844  
EVA\_Produtora: 1175680,97569626  
EVA\_Refin\_1: 772413,344258431  
EVA\_Refin\_2: 403267,631437825  
EVA\_TOT: 4532940,09265325  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,489614433280674  
NS\_Term\_C\_Med: 0,999999999999674  
NS\_Term\_D\_Med: 0,99864807141232  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,987736285665426  
NS\_Term\_F\_Med: 0,999999999999954  
NS\_TOTAL\_Med: 0,978674447425295

Max EVA Tot: 4488687,92012545(Best = 4488687,92012545)  
NS Term C: NonLinear feasible  
NS Term D: NonLinear feasible  
NS Term E: NonLinear feasible  
NS Term F: NonLinear feasible  
NS Total: NonLinear feasible

Simulation: 12  
14/03/2008 09:21:00  
Number of Replications: 8  
Std Dev = 42191,977537956 Termination  
Reason = The objective value has met the confidence level.

Values of Decision Variables  
NBaias\_Refin\_1\_Comp\_1: 1  
NBaias\_Refin\_2\_Comp\_1: 1  
NBaias\_Refin\_2\_Comp\_2: 1  
NBaias\_Refin\_2\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_A\_PEsp: 2  
NBaias\_Term\_C\_PEsp: 2  
NBaias\_Term\_D\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_E\_PEsp: 2  
NBaias\_Term\_F\_PEsp: 1

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 3344283,43236155  
EVA\_GAT1: 846347,369893846  
EVA\_GAT2: 1157309,74629581  
EVA\_GAT3: 1340626,3161719  
EVA\_Produtora: 1218742,55519822  
EVA\_Refin\_1: 782992,632590774  
EVA\_Refin\_2: 435749,922607448

EVA\_TOT: 4563025,98755977  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,482191780821263  
NS\_Term\_C\_Med: 0,999820590477302  
NS\_Term\_D\_Med: 0,992466322358831  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,995055524767581  
NS\_Term\_F\_Med: 0,99999999999959  
NS\_TOTAL\_Med: 0,977454125910771

Max EVA Tot: 4472522,70830595(Best = 4488687,92012545)  
NS Term C: NonLinear feasible  
NS Term D: NonLinear feasible  
NS Term E: NonLinear feasible  
NS Term F: NonLinear feasible  
NS Total: NonLinear feasible

Simulation: 14  
14/03/2008 09:25:21  
Number of Replications: 8  
Std Dev = 25201,4673125466 Termination  
Reason = The objective value has met the confidence level.

Values of Decision Variables  
NBaias\_Refin\_1\_Comp\_1: 1  
NBaias\_Refin\_2\_Comp\_1: 1  
NBaias\_Refin\_2\_Comp\_2: 1  
NBaias\_Refin\_2\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_A\_PEsp: 3  
NBaias\_Term\_C\_PEsp: 2  
NBaias\_Term\_D\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_E\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_F\_PEsp: 1

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 3367236,92379326  
EVA\_GAT1: 865472,190788041  
EVA\_GAT2: 1136816,31283626  
EVA\_GAT3: 1364948,42016895  
EVA\_Produtora: 1088123,35733736  
EVA\_Refin\_1: 749357,611230764  
EVA\_Refin\_2: 338765,7461066  
EVA\_TOT: 4455360,28113062  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,460273972602316  
NS\_Term\_C\_Med: 0,999999999999669  
NS\_Term\_D\_Med: 0,98548456887834  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,959775356565163  
NS\_Term\_F\_Med: 0,998916010469142  
NS\_TOTAL\_Med: 0,975156914523526

Max EVA Tot: 4458316,72688462(Best = 4488687,92012545)  
NS Term C: NonLinear feasible  
NS Term D: NonLinear feasible  
NS Term E: NonLinear feasible  
NS Term F: NonLinear feasible  
NS Total: NonLinear feasible

Simulation: 60  
14/03/2008 11:24:59  
Number of Replications: 8  
Std Dev = 16165,1317860608 Termination  
Reason = The objective value has met the confidence level.

Values of Decision Variables  
NBaias\_Refin\_1\_Comp\_1: 1  
NBaias\_Refin\_2\_Comp\_1: 2  
NBaias\_Refin\_2\_Comp\_2: 1  
NBaias\_Refin\_2\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_A\_PEsp: 3  
NBaias\_Term\_C\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_D\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_E\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_F\_PEsp: 1

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 3365097,08111563  
EVA\_GAT1: 864680,898416789  
EVA\_GAT2: 1149396,136723  
EVA\_GAT3: 1351020,04597584  
EVA\_Produtora: 1117836,23303225  
EVA\_Refin\_1: 755929,070258596  
EVA\_Refin\_2: 361907,162773658  
EVA\_TOT: 4482933,31414789

NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,487671232875872  
NS\_Term\_C\_Med: 0,984979196988824  
NS\_Term\_D\_Med: 0,99490610142963  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,966579395764524  
NS\_Term\_F\_Med: 0,99999999999957  
NS\_TOTAL\_Med: 0,968137810281577

Max EVA Tot: 4474164,18330096(Best = 4488687,92012545)  
NS Term C: NonLinear feasible  
NS Term D: NonLinear feasible  
NS Term E: NonLinear feasible  
NS Term F: NonLinear feasible  
NS Total: NonLinear infeasible

Simulation: 75  
14/03/2008 11:58:58  
Number of Replications: 8  
Std Dev = 25087,6878065253 Termination Reason = The objective value has met the confidence level.

Values of Decision Variables  
NBaias\_Refin\_1\_Comp\_1: 1  
NBaias\_Refin\_2\_Comp\_1: 2  
NBaias\_Refin\_2\_Comp\_2: 1  
NBaias\_Refin\_2\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_A\_PEsp: 3  
NBaias\_Term\_C\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_D\_PEsp: 2  
NBaias\_Term\_E\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_F\_PEsp: 1

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 3340502,70283499  
EVA\_GAT1: 863874,623010757  
EVA\_GAT2: 1134573,88220688  
EVA\_GAT3: 1342054,19761735  
EVA\_Produtora: 1138048,28229689  
EVA\_Refin\_1: 780399,59982934  
EVA\_Refin\_2: 357648,68246755  
EVA\_TOT: 4478550,98513188  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,498630136985697  
NS\_Term\_C\_Med: 0,999999999999569  
NS\_Term\_D\_Med: 0,9999999999992003  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,998787339635107  
NS\_Term\_F\_Med: 0,999999999999552  
NS\_TOTAL\_Med: 0,979141201900572

Max EVA Tot: 4459677,77141536(Best = 4488687,92012545)  
NS Term C: NonLinear feasible  
NS Term D: NonLinear feasible  
NS Term E: NonLinear feasible

NS Term F: NonLinear feasible  
NS Total: NonLinear infeasible

Simulation: 77  
14/03/2008 12:03:27  
Number of Replications: 8  
Std Dev = 22198,1155892631 Termination Reason = The objective value has met the confidence level.

Values of Decision Variables  
NBaias\_Refin\_1\_Comp\_1: 1  
NBaias\_Refin\_2\_Comp\_1: 2  
NBaias\_Refin\_2\_Comp\_2: 1  
NBaias\_Refin\_2\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_A\_PEsp: 2  
NBaias\_Term\_C\_PEsp: 2  
NBaias\_Term\_D\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_E\_PEsp: 1  
NBaias\_Term\_F\_PEsp: 1

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 3349737,48420458  
EVA\_GAT1: 865597,105544507  
EVA\_GAT2: 1144309,03170375  
EVA\_GAT3: 1339831,34695632  
EVA\_Produtora: 1135075,92635886  
EVA\_Refin\_1: 780882,415681517  
EVA\_Refin\_2: 354193,510677339  
EVA\_TOT: 4484813,41056344  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,432876712328246  
NS\_Term\_C\_Med: 0,999999999999681  
NS\_Term\_D\_Med: 0,993406967483514  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,943140761444966  
NS\_Term\_F\_Med: 0,999999999999592  
NS\_TOTAL\_Med: 0,974054898877452

Max EVA Tot: 4470207,04012295(Best = 4488687,92012545)  
NS Term C: NonLinear feasible  
NS Term D: NonLinear feasible  
NS Term E: NonLinear feasible  
NS Term F: NonLinear feasible  
NS Total: NonLinear infeasible

Optimization Summary  
Optimization started at 14/03/2008 08:53:17 and ended at 14/03/2008 13:48:20  
Best solution generated at simulation 11 of 100 total simulations

## Apêndice E Ranking das melhores soluções encontradas no 1º experimento de otimização

Simulação	EVA total	Status	Simulação	EVA total	Status
11	4.488.688	Feasible	16	4.507.734	Infeasible
9	4.479.169	Feasible	29	4.489.701	Infeasible
60	4.474.164	Feasible	79	4.486.891	Infeasible
8	4.474.010	Feasible	4	4.485.160	Infeasible
12	4.472.523	Feasible	95	4.484.178	Infeasible
77	4.470.207	Feasible	92	4.475.154	Infeasible
7	4.467.388	Feasible	42	4.474.809	Infeasible
75	4.459.678	Feasible	89	4.472.157	Infeasible
1	4.458.742	Feasible	3	4.468.819	Infeasible
14	4.458.317	Feasible	28	4.465.220	Infeasible
51	4.440.853	Feasible	2	4.458.390	Infeasible
61	4.430.786	Feasible	44	4.454.984	Infeasible
6	4.419.589	Feasible	59	4.454.046	Infeasible
26	4.411.673	Feasible	66	4.448.298	Infeasible
68	4.385.062	Feasible	76	4.445.641	Infeasible
82	4.382.575	Feasible	5	4.445.123	Infeasible
67	4.377.340	Feasible	10	4.444.848	Infeasible
70	4.374.982	Feasible	62	4.441.876	Infeasible
18	4.371.705	Feasible	96	4.440.770	Infeasible
19	4.368.473	Feasible	24	4.440.557	Infeasible
57	4.360.441	Feasible	69	4.437.206	Infeasible
80	4.360.412	Feasible	13	4.436.714	Infeasible
99	4.359.613	Feasible	90	4.436.451	Infeasible
83	4.358.028	Feasible	25	4.435.612	Infeasible
53	4.349.770	Feasible	33	4.432.086	Infeasible
49	4.344.630	Feasible	93	4.427.020	Infeasible
50	4.337.803	Feasible	86	4.421.304	Infeasible
41	4.328.739	Feasible	52	4.420.763	Infeasible
30	4.323.040	Feasible	43	4.420.390	Infeasible
88	4.315.022	Feasible	85	4.420.286	Infeasible
71	4.313.150	Feasible	32	4.418.931	Infeasible
63	4.302.330	Feasible	36	4.416.831	Infeasible
17	4.259.986	Feasible	45	4.413.758	Infeasible
			40	4.412.596	Infeasible
			37	4.412.462	Infeasible
			34	4.412.143	Infeasible
			72	4411057,21	Infeasible
			46	4405265,82	Infeasible
			98	4391188,99	Infeasible
			21	4389969,75	Infeasible
			39	4386042,43	Infeasible
			38	4380520,94	Infeasible
			35	4378953,5	Infeasible
			23	4376702,55	Infeasible
			22	4375133,24	Infeasible
			87	4374266,31	Infeasible
			73	4372146,32	Infeasible
			54	4365022,87	Infeasible
			81	4362276,86	Infeasible
			56	4361777,6	Infeasible
			65	4360377,72	Infeasible
			20	4359722,58	Infeasible
			55	4353953,63	Infeasible
			84	4351475,84	Infeasible
			100	4351329,64	Infeasible
			58	4342942,18	Infeasible
			74	4342825,49	Infeasible
			91	4340777,41	Infeasible
			97	4340175,58	Infeasible
			48	4339552,79	Infeasible
			64	4328802,77	Infeasible
			31	4328410,59	Infeasible
			15	4324340,98	Infeasible
			27	4322873,45	Infeasible
			47	4316152,8	Infeasible
			94	4311981,09	Infeasible
			78	4289711,64	Infeasible

# Apêndice F Arquivos LOG do 2º experimento de otimização

## F.1 1ª Etapa

D:\Documents and Settings\cmmo\Meus documentos\Mestrado\Dissertação\Modelos\Estudos paramétricos - OptQuest\2) Maximizar demanda total  
média\CL\_GP\_2\_tanq\_s\_refinaria2\_3.doe  
21/03/2008 19:35:56  
Objective: DemandaMedia : [Dem\_media]

Simulation: 1 \*\*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*\*  
21/03/2008 19:38:13  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 8800

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5207237,47283757  
EVA\_GAT1: 1285492,83934329  
EVA\_GAT2: 1789370,29873001  
EVA\_GAT3: 2132374,33476427  
EVA\_Produtora: 1765366,03069767  
EVA\_Refin\_1: 1765366,03069767  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 6972603,50353524  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,819178082191141  
NS\_Term\_C\_Med: 0,990985288396004  
NS\_Term\_D\_Med: 0,99004351689929  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,994959569370974  
NS\_Term\_F\_Med: 0,9999689707677  
NS\_TOTAL\_Med: 0,986663824331505

DemandaMedia : 8800(Best = 8800)  
NS total: NonLinear feasible

Simulation: 2  
21/03/2008 19:45:17  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 8000

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 4681656,45303122  
EVA\_GAT1: 1153865,11355418  
EVA\_GAT2: 1611799,09128978  
EVA\_GAT3: 1915992,24818726  
EVA\_Produtora: 1538313,70094943  
EVA\_Refin\_1: 1538313,70094943  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 6219970,15398066  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,892512284850592  
NS\_Term\_C\_Med: 0,997282626360606  
NS\_Term\_D\_Med: 0,998482631887435  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,995828305111413  
NS\_Term\_F\_Med: 0,999999999999692  
NS\_TOTAL\_Med: 0,993573123268239

DemandaMedia : 8000(Best = 8800)  
NS total: NonLinear feasible

Simulation: 3  
21/03/2008 19:47:35  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9600

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5739369,70789342  
EVA\_GAT1: 1432900,79399735  
EVA\_GAT2: 2005785,29877584  
EVA\_GAT3: 2300683,61512023  
EVA\_Produtora: 1880352,80458089  
EVA\_Refin\_1: 1880352,80458089

EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7619722,51247431  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,756164383561227  
NS\_Term\_C\_Med: 0,984372229727108  
NS\_Term\_D\_Med: 0,966847743050736  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,913877841192638  
NS\_Term\_F\_Med: 0,956020789038076  
NS\_TOTAL\_Med: 0,963550685157111

DemandaMedia : 9600(Best = 8800)  
NS total: NonLinear infeasible

Simulation: 4 \*\*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*\*  
21/03/2008 19:49:41  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9200

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5411329,87551109  
EVA\_GAT1: 1335194,06255044  
EVA\_GAT2: 1863583,75419474  
EVA\_GAT3: 2212552,05876591  
EVA\_Produtora: 1841768,97967635  
EVA\_Refin\_1: 1841768,97967635  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7253098,85518744  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,904529681601743  
NS\_Term\_C\_Med: 0,99137636784889  
NS\_Term\_D\_Med: 0,999311523093303  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,967630344328912  
NS\_Term\_F\_Med: 0,999999999999731  
NS\_TOTAL\_Med: 0,989746842014504

DemandaMedia : 9200(Best = 9200)  
NS total: NonLinear feasible

Simulation: 5  
21/03/2008 19:51:42  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 8400

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 4884355,05128345  
EVA\_GAT1: 1203217,00942138  
EVA\_GAT2: 1681208,46639747  
EVA\_GAT3: 1999929,57546461  
EVA\_Produtora: 1698911,30245482  
EVA\_Refin\_1: 1698911,30245482  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 6583266,35373827  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,879452054793895  
NS\_Term\_C\_Med: 0,992263893441612  
NS\_Term\_D\_Med: 0,9999999999993455  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,995338542579238  
NS\_Term\_F\_Med: 0,999999999999974  
NS\_TOTAL\_Med: 0,990326797659117

DemandaMedia : 8400(Best = 9200)  
NS total: NonLinear feasible

Simulation: 6  
21/03/2008 19:54:13  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9400

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5636104,15458614  
EVA\_GAT1: 1413630,99819749  
EVA\_GAT2: 1979855,27739765  
EVA\_GAT3: 2242617,87899101  
EVA\_Produtora: 1831047,89952096  
EVA\_Refin\_1: 1831047,89952096

EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7467152,0541071  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,746528838252418  
NS\_Term\_C\_Med: 0,974304347775014  
NS\_Term\_D\_Med: 0,958496273638708  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,812901977693266  
NS\_Term\_F\_Med: 0,943937793348581  
NS\_TOTAL\_Med: 0,949550903674578

DemandaMedia : 9400(Best = 9200)  
NS total: NonLinear infeasible

Simulation: 7  
21/03/2008 19:56:14  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 8200

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 4769072,05395691  
EVA\_GAT1: 1178078,0036672  
EVA\_GAT2: 1628030,23816854  
EVA\_GAT3: 1962963,81212117  
EVA\_Produtora: 1620644,41875677  
EVA\_Refin\_1: 1620644,41875677  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 6389716,47271368  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,854794520547006  
NS\_Term\_C\_Med: 0,996858713441968  
NS\_Term\_D\_Med: 0,99999999999245  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,997086520139405  
NS\_Term\_F\_Med: 0,99999999999698  
NS\_TOTAL\_Med: 0,992215864294296

DemandaMedia : 8200(Best = 9200)  
NS total: NonLinear feasible

Simulation: 8  
21/03/2008 19:58:17  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 8600

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5053044,97227177  
EVA\_GAT1: 1243567,85688081  
EVA\_GAT2: 1725541,28313951  
EVA\_GAT3: 2083935,83225145  
EVA\_Produtora: 1715245,38912413  
EVA\_Refin\_1: 1715245,38912413  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 6768290,3613959  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,867541991742283  
NS\_Term\_C\_Med: 0,991220711441332  
NS\_Term\_D\_Med: 0,989674486339406  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,955946305177023  
NS\_Term\_F\_Med: 0,991640967817308  
NS\_TOTAL\_Med: 0,98476513061486

DemandaMedia : 8600(Best = 9200)  
NS total: NonLinear feasible

Simulation: 9  
21/03/2008 20:00:24  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9000

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5338928,19144093  
EVA\_GAT1: 1314062,40350415  
EVA\_GAT2: 1828903,07152219  
EVA\_GAT3: 2195962,71641459  
EVA\_Produtora: 1798898,40673714  
EVA\_Refin\_1: 1798898,40673714  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7137826,59817807  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,90354669502718  
NS\_Term\_C\_Med: 0,990902532158992  
NS\_Term\_D\_Med: 0,999865708924366  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,986231896907853

NS\_Term\_F\_Med: 0,988682111456143  
NS\_TOTAL\_Med: 0,987177683205604

DemandaMedia : 9000(Best = 9200)  
NS total: NonLinear feasible

Optimization Summary  
Optimization started at 21/03/2008  
19:35:57 and ended at 21/03/2008 20:00:24  
Best solution generated at simulation 4 of  
9 total simulations.

## F.2 2ª Etapa

D:\Documents and Settings\cmmo\Meus  
documentos\Mestrado\Dissertação\Modelos\Es  
tudos paramétricos - OptQuest\2)  
Maximizar demanda total  
média\CL\_GP\_2\_tanq\_s\_refinaria2\_3.doe  
21/03/2008 20:15:34  
Objective: DemandaMedia : [Dem\_media]

Simulation: 1 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*  
21/03/2008 20:17:41  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9300

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5561949,4042947  
EVA\_GAT1: 1375587,11101525  
EVA\_GAT2: 1919368,10003925  
EVA\_GAT3: 2266994,19324021  
EVA\_Produtora: 1828842,26187394  
EVA\_Refin\_1: 1828842,26187394  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7390791,66616864  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,849764328218219  
NS\_Term\_C\_Med: 0,989542137052177  
NS\_Term\_D\_Med: 0,963294412430418  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,953007249840418  
NS\_Term\_F\_Med: 0,966495644679189  
NS\_TOTAL\_Med: 0,974412174163386

DemandaMedia : 9300(Best = 9300)  
Infeasible)  
NS total: NonLinear infeasible

Simulation: 2 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*  
21/03/2008 20:19:50  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9200

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5411329,87551109  
EVA\_GAT1: 1335194,06255044  
EVA\_GAT2: 1863583,75419474  
EVA\_GAT3: 2212552,05876591  
EVA\_Produtora: 1841768,97967635  
EVA\_Refin\_1: 1841768,97967635  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7253098,85518744  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,904529681601743  
NS\_Term\_C\_Med: 0,99137636784889  
NS\_Term\_D\_Med: 0,999311523093303  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,967630344328912  
NS\_Term\_F\_Med: 0,99999999999731  
NS\_TOTAL\_Med: 0,989746842014504

DemandaMedia : 9200(Best = 9200)  
NS total: NonLinear feasible

Simulation: 3  
21/03/2008 20:21:56  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9400

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5636104,15458614  
EVA\_GAT1: 1413630,99819749  
EVA\_GAT2: 1979855,27739765  
EVA\_GAT3: 2242617,87899101  
EVA\_Produtora: 1831047,89952096  
EVA\_Refin\_1: 1831047,89952096  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7467152,0541071  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,746528838252418  
NS\_Term\_C\_Med: 0,974304347775014  
NS\_Term\_D\_Med: 0,958496273638708  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,812901977693266  
NS\_Term\_F\_Med: 0,943937793348581  
NS\_TOTAL\_Med: 0,949550903674578

DemandaMedia : 9400(Best = 9200)  
NS total: NonLinear infeasible

Simulation: 4  
21/03/2008 20:24:07  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9350

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5654886,39964387  
EVA\_GAT1: 1390393,01008205  
EVA\_GAT2: 1952514,48861969  
EVA\_GAT3: 2311978,90094213  
EVA\_Produtora: 1859612,27392571  
EVA\_Refin\_1: 1859612,27392571  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7514498,67356958  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,797260273971956  
NS\_Term\_C\_Med: 0,990294529899092  
NS\_Term\_D\_Med: 0,971019378409  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,953905745838966  
NS\_Term\_F\_Med: 0,981780046696977  
NS\_TOTAL\_Med: 0,977290098892463

DemandaMedia : 9350(Best = 9200)  
NS total: NonLinear infeasible

Simulation: 5 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*  
21/03/2008 20:26:14  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9250

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5472601,47510309  
EVA\_GAT1: 1355759,9712993  
EVA\_GAT2: 1882740,25863535  
EVA\_GAT3: 2234101,24516844  
EVA\_Produtora: 1846589,66511607  
EVA\_Refin\_1: 1846589,66511607  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7319191,14021916  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,832419600740382  
NS\_Term\_C\_Med: 0,990612380654177  
NS\_Term\_D\_Med: 0,95933257772957  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,929395914057609  
NS\_Term\_F\_Med: 0,97847823444514  
NS\_TOTAL\_Med: 0,976534346796064

DemandaMedia : 9250(Best = 9250)  
NS total: NonLinear Feasible

Optimization Summary  
Optimization started at 21/03/2008  
20:15:35 and ended at 21/03/2008 20:26:14  
Best solution generated at simulation 5 of  
5 total simulations.

### F.3 3ª Etapa

D:\Documents and Settings\cmmo\Meus  
documentos\Mestrado\Dissertação\Modelos\Es

tudos paramétricos - OptQuest\2)  
Maximizar demanda total  
média\CL\_GP\_2\_tanq\_s\_refinaria2\_3.doe  
22/03/2008 11:28:51  
Objective: DemandaMedia : [Dem\_media]

Simulation: 1 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*  
22/03/2008 11:30:58  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9280

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5589283,35802969  
EVA\_GAT1: 1383613,91787885  
EVA\_GAT2: 1932694,54031902  
EVA\_GAT3: 2272974,89983182  
EVA\_Produtora: 1795531,11738576  
EVA\_Refin\_1: 1795531,11738576  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7384814,47541545  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,789041095890067  
NS\_Term\_C\_Med: 0,986527263956703  
NS\_Term\_D\_Med: 0,976039917807961  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,974575726450273  
NS\_Term\_F\_Med: 0,979293257123798  
NS\_TOTAL\_Med: 0,97546591943703

DemandaMedia : 9280(Best = 9280)  
NS total: NonLinear infeasible

Simulation: 2 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*  
22/03/2008 11:33:04  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9250

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5556728,51504443  
EVA\_GAT1: 1369805,73128107  
EVA\_GAT2: 1910506,83482678  
EVA\_GAT3: 2276415,94893658  
EVA\_Produtora: 1851528,35697618  
EVA\_Refin\_1: 1851528,35697618  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7408256,87202061  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,790670784353028  
NS\_Term\_C\_Med: 0,990093581800781  
NS\_Term\_D\_Med: 0,975649293502964  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,960263753836733  
NS\_Term\_F\_Med: 0,998421541572909  
NS\_TOTAL\_Med: 0,982177631517186

DemandaMedia : 9250(Best = 9250)  
NS total: NonLinear feasible

Simulation: 3  
22/03/2008 11:35:07  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9300

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5561949,4042947  
EVA\_GAT1: 1375587,11101525  
EVA\_GAT2: 1919368,10003925  
EVA\_GAT3: 2266994,19324021  
EVA\_Produtora: 1828842,26187394  
EVA\_Refin\_1: 1828842,26187394  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7390791,66616864  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,849764328218219  
NS\_Term\_C\_Med: 0,989542137052177  
NS\_Term\_D\_Med: 0,963294412430418  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,953007249840418  
NS\_Term\_F\_Med: 0,966495644679189  
NS\_TOTAL\_Med: 0,974412174163386

DemandaMedia : 9300(Best = 9250)  
NS total: NonLinear infeasible

Simulation: 4 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*  
22/03/2008 11:37:13  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9260

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5491673,01186854  
EVA\_GAT1: 1356578,79192754  
EVA\_GAT2: 1892003,31230033  
EVA\_GAT3: 2243090,90764067  
EVA\_Produtora: 1838973,9176151  
EVA\_Refin\_1: 1838973,9176151  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7330646,92948364  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,825937435820184  
NS\_Term\_C\_Med: 0,990369129168727  
NS\_Term\_D\_Med: 0,976888680500959  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,953351718522637  
NS\_Term\_F\_Med: 0,982145906609057  
NS\_TOTAL\_Med: 0,97920847103102

DemandaMedia : 9260(Best = 9260)  
NS total: NonLinear feasible

Simulation: 5  
22/03/2008 11:39:29  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9290

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5472601,47510309  
EVA\_GAT1: 1355759,9712993  
EVA\_GAT2: 1882740,25863535  
EVA\_GAT3: 2234101,24516844  
EVA\_Produtora: 1846589,66511607  
EVA\_Refin\_1: 1846589,66511607  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7319191,14021916

NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,832419600740382  
NS\_Term\_C\_Med: 0,990612380654177  
NS\_Term\_D\_Med: 0,95933257772957  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,929395914057609  
NS\_Term\_F\_Med: 0,97847823444514  
NS\_TOTAL\_Med: 0,976534346796064

DemandaMedia : 9290(Best = 9260)  
NS total: NonLinear infeasible

Simulation: 6 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*  
22/03/2008 11:41:34  
Number of Replications: 8

Values of Decision Variables  
Dem\_media: 9270

Values of Output Variables  
EVA\_Distribuidora: 5556921,00226473  
EVA\_GAT1: 1370132,89603617  
EVA\_GAT2: 1915582,49623145  
EVA\_GAT3: 2271205,60999711  
EVA\_Produtora: 1850265,00859659  
EVA\_Refin\_1: 1850265,00859659  
EVA\_Refin\_2: 0  
EVA\_TOT: 7407186,01086132  
NS\_Term\_A\_SP\_Med: 0,784853490263872  
NS\_Term\_C\_Med: 0,98911043801936  
NS\_Term\_D\_Med: 0,999777729626819  
NS\_Term\_E\_RS\_Med: 0,986500779778263  
NS\_Term\_F\_Med: 0,990887518042521  
NS\_TOTAL\_Med: 0,981799570536731

DemandaMedia : 9270(Best = 9270)  
NS total: NonLinear feasible

Optimization Summary  
Optimization started at 22/03/2008  
11:28:52 and ended at 22/03/2008 11:41:34  
Best solution generated at simulation 6 of  
6 total simulations.