



GERENCIAMENTO DINÂMICO DA LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS E
ALOCAÇÃO DE ESTOQUES APLICADO AO ABASTECIMENTO DE UNIDADES
DE PRODUÇÃO OFFSHORE

Thiago Castilho Moreira Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Rio de Janeiro
Setembro de 2012

GERENCIAMENTO DINÂMICO DA LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS E
ALOCAÇÃO DE ESTOQUES APLICADO AO ABASTECIMENTO DE UNIDADES
DE PRODUÇÃO OFFSHORE

Thiago Castilho Moreira Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) 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.

Examinada por:

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

Profa. Laura Silvia Bahiense da Silva Leite, D.Sc.

Prof. Peter Fernandes Wanke, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
SETEMBRO DE 2012

Silva, Thiago Castilho Moreira

Gerenciamento Dinâmico da localização de Armazéns e Alocação de Estoques Aplicado ao Abastecimento de Unidades de Produção Offshore/Thiago Castilho Moreira Silva. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

XIV, 69 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 89-95.

1. Gerenciamento de Estoques. 2. Problema de Localização de Armazéns. 3. Linearização por Partes. I. Filho, Virgílio José Martins Ferreira. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

Dedico aos meus pais Paulo e Lucy e
à minha irmã Débora,
abrigo e fortaleza da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Paulo Moreira da Silva e Lucy Castilho da Silva pelo amor dado em todos os momentos, pelos ensinamentos de vida e pelo incentivo aos estudos;

À minha irmã Débora Castilho Moreira Silva por seu apoio e paciência, por compartilhar e dividir, pelo carinho e pela alegria;

Ao meu tio Adhemar Castilho e a todos da minha família pela confiança transmitida na conclusão dessa dissertação;

Ao Professor Virgílio José Martins Ferreira Filho por sua grande contribuição na obtenção deste título de mestre em ciências de engenharia de produção;

À Professora Laura Silvia Bahiense da Silva Leite por aceitar o convite para participar da banca examinadora deste trabalho e pela disponibilidade e contribuição ao longo da preparação do mesmo;

Ao Professor Peter Fernandes Wanke por aceitar o convite para participar da banca examinadora e por colaborar com o aperfeiçoamento desta dissertação;

Aos amigos de longa data Fernando Danziger, Fernando Brasil, Thiago Manhães, Pablo Musa, Antonio Soares, Jorge Koliren, Bruno Souza, Shirlei Rodrigues, Flávia Bonitz, e Joyce Vargas pela confiança transmitida a mim e pelo incentivo;

Aos amigos que conheci ao longo do curso Ormeu Coelho, Érito Marques e Leonardo Nascimento, Cristiano Oliveira, Rodrigo Sant'anna, Marcelo Tahiro, Iago Veiga, Frederico Albuquerque, Anderson Valença, Lício Magno Lima, Gustavo Calegari, Ramon Campos, Marcos Serpa, Euclides da Cunha, César Subieta, Sérgio Antoun Netto, Nathalia Sena, Marcos Piquet, Laura Cardenas, Lucero Ozuna e Li Xishu pelos momentos apoio e de descontração compartilhados ao longo do curso seja pelo convívio diário, seja por longas distâncias;

Aos meus amigos e colegas de colega de trabalho que permitiram conciliar horários e motivaram finalização da pesquisa. Agradecimentos a Kherin Kanasawa, José Márcio Gramacho, Renata Manhães Chagas, Cláudio Cesar de Araújo, Elaine Nogueira, Roberta Nobre e Tarciso Faria Resende.

A Angela Antonas pelo incentivo e apoio na publicação do artigo publicado no Rio Oil&Gas 2012, bem como à orientação e correção de textos em inglês.

A Josilene Deodoro por seu apoio nos momentos finais de preparação de material.

Aos funcionários Andréia Moreira, Pedro Luiz Suevo, Roberta Arruda e Diego de Sá pela paciência e presteza em solucionar os problemas de regularização de inscrição, requerimento de bolsa de pesquisa, lançamento de grau, pedidos de documento, inscrição em congressos, provisão de material e alocação de salas;

Aos demais funcionários da Universidade Federal do Rio de Janeiro que de alguma maneira contribuíram para a conclusão desse material. Agradecimentos especiais a Solange Coelho de Oliveira e à equipe da xerox do bloco F.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que forneceu o auxílio financeiro indispensável para a realização deste trabalho;

À Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) pelos 20 anos ininterruptos de ensino, responsável direta pela minha formação acadêmica, profissional e cidadã;

Ao Deus único e verdadeiro, soberano e criador, digno de toda a glória sem o qual nada na minha vida seria possível.

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

GERENCIAMENTO DINÂMICO DA LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS E
ALOCAÇÃO DE ESTOQUES APLICADO AO ABASTECIMENTO DE UNIDADES
DE PRODUÇÃO OFFSHORE

Thiago Castilho Moreira Silva

Setembro/2012

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Programa: Engenharia de Produção

As recentes descobertas de enormes reservas de petróleo têm gerado grande euforia no setor da indústria petroleira no Brasil. Entretanto, a localização dessas reservas em uma região denominada de pré-sal demanda maiores cuidados acerca do planejamento operacional. Dentre os maiores desafios apresentados por essas operações, o gerenciamento de incertezas e a definição de políticas apropriadas são fundamentais para que sejam garantidas vantagens competitivas

Em se tratando de operações envolvidas especificamente na produção de petróleo em plataformas marítimas, a alocação de estoques ao longo da cadeia é parte essencial para o planejamento das operações de abastecimento. Esse trabalho consiste em uma avaliação do gerenciamento dinâmico de estoques para o abastecimento de materiais e equipamentos para as unidades da cadeia produtora de petróleo a partir das plataformas produtoras de petróleo extraído da camada pré-sal.

Como resultados para essa pesquisa serão apresentados diferentes cenários em que diferentes parâmetros de avaliação serão alterados entre si. A partir de um modelo de localização instalações e alocação de estoques desenvolvido com base na bibliografia pesquisada, os resultados serão analisados de forma a se explicitar as políticas de estocagem mais adequadas a cada cenário. O modelo utilizará programação matemática não-linear e determinará valores ótimos para as variáveis de forma a atingir a configuração na qual o custo total da rede é mínimo.

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

DYNAMIC MANAGEMENT OF THE LOCATION AND
INVENTORY ALLOCATION OF WAREHOUSES APPLIED TO OFFSHORE
PRODUCTION UNITS SUPPLY

Thiago Castilho Moreira Silva

September/2012

Advisor: Virgílio José Martins Ferreira Filho.

Department: Industrial Engineering

The recent discoveries of huge oil reserves have generated great excitement in the sector of oil industry in Brazil. However, the location of these reserves inside a region denominated as Pre-salt demands more care about the operational planning. Among the major challenges posed by these operations, appropriate uncertainty management and definition of politics are indispensable for ensuring competitive advantage, as well as elimination of inefficiencies in operations.

Correct set of the network of facilities and inventory allocation, among others aspects, cover part of strategic decisions of operations planning. This research consists on an evaluation of dynamic inventory management for supplying of materials and equipments for units in the oil production chain from pre-salt oil platforms. Due to nature of the extraction fields at offshore environment, analysis of more commonly required units in supplying operations, PUs (Production Units), will be made.

As results for this research, different scenarios, in which distinct parameters of evaluation modified among each other, will be presented. From a facility location and inventory allocation model, using indicated literature of this research, results will be analyzed in order to present better inventory politics for scenario. The model will generate a non-linear mathematical programming and will determine optimal values for variables so as minimum total cost configuration of the chain is achieved.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO DO TEMA	1
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.3. ESTRUTURA.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	6
2.1. PROBLEMAS DE ALOCAÇÃO DE ESTOQUES SIMPLIFICADOS.....	7
2.2. MODELOS COM INCORPORAÇÃO DE EFEITO PORTFOLIO	7
2.3. MODELOS COM INCORPORAÇÃO DE EFEITO CONSOLIDAÇÃO	9
2.4. MODELOS COM COMPARTILHAMENTO DO ATENDIMENTO – TÉCNICAS DE <i>RISK POOLING</i>	10
2.5. MODELOS COM DEMANDA VARIÁVEL NO TEMPO	11
2.6. MÉTODOS DE TRATAMENTO DE PROBLEMAS NÃO-LINEARES	12
2.7. QUADRO RESUMO PARA A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3. METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO	15
3.1. MODELOS COM ESTOQUE DE ESTOQUE SIMPLIFICADOS.....	15
3.2. RISK POOLING	18
3.3. EFEITOS DO RISK POOLING SOBRE OS ESTOQUES	21
3.4. MODELOS COM DEMANDA VARIÁVEL NO TEMPO	23
3.5. MÉTODO DE LINEARIZAÇÃO POR PARTES	25
4. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	28
4.1. PREMISAS E HIPÓTESES.....	30
4.2. MODELAGEM MATEMÁTICA	33
4.2.1. MODELO NÃO LINEAR	34
4.2.2. MODELO COM MÉTODO DE LINEARIZAÇÃO POR PARTES.....	37
5. EXPERIMENTAÇÃO.....	41

5.1.	MODELO PROTÓTIPO E RESULTADOS.....	41
5.2.	SEGMENTAÇÃO DO MODELO PROTÓTIPO NÃO-LINEAR	47
5.3.	DADOS	48
5.4.	ANÁLISE DE PARÂMETROS.....	52
5.5.	RESULTADOS	55
6.	ANÁLISE DE RESULTADOS	59
6.1.	EFEITO DOS PARÂMETROS DE ENTRADA	60
6.2.	EFEITO DA CONFIGURAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	63
6.3.	DISCUSSÃO DE POLÍTICAS DE ALOCAÇÃO NO TEMPO	65
6.4.	COMPARAÇÃO ENTRE AS ABORDAGENS DE RESOLUÇÃO	67
7.	CONCLUSÃO	72
7.1.	COMENTÁRIOS FINAIS	73
7.2.	TRABALHOS FUTUROS.....	74
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	ANEXOS	81
	ANEXO 1 – DADOS DE ENTRADA DO MODELO PROTÓTIPO MINLP.....	81
	ANEXO 2 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP	83
	ANEXO 3 – DADOS DE ENTRADA DO MODELO PROTÓTIPO MILP	85
	ANEXO 4 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MILP	87
	ANEXO 5 – RESULTADOS DADOS DE ENTRADA DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADOPOR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO.....	91
	ANEXO 6 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO - 01	93
	ANEXO 7 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO- 02.....	96
	ANEXO 8 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO- 03.....	99

ANEXO 9 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO- 04	102
ANEXO 10 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO- 05.....	105
ANEXO 11 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO- 06.....	108
ANEXO 12 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO - 07.....	111
ANEXO 13 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO - 08.....	114
ANEXO 14 – RESULTADOS DE QUANTIDADE COMPRADA TOTAL	117
ANEXO 15 – RESULTADOS DE ESTOQUE TOTAL.....	118
ANEXO 16 – RESULTADOS DE ESTOQUE DE SEGURANÇA TOTAL	119
ANEXO 17 – RESULTADOS DE ABERTURA TOTAL DE ARMAZÉNS.....	120
ANEXO 18 – RESULTADOS DE NÚMERO DE COMPRAS TOTAL.....	121
ANEXO 19 – RESULTADOS DE CUSTO DE ESTOQUE TOTAL.....	122
ANEXO 20 – RESULTADOS DE CUSTO DE COLOCAÇÃO DE PEDIDO TOTAL	123
ANEXO 21 – RESULTADOS DE CUSTO DE RESSUPRIMENTO TOTAL	124
ANEXO 22 – RESULTADOS DE CUSTO DE TRANSPORTE TOTAL	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Centralização de Estoques	19
Figura 3.2 - Sistemas independentes	20
Figura 3.3 - Cross-Filling Total.....	21
Figura 3.4 - Linearização por Partes da função Estoque de Segurança.....	27
Figura 4.1 - Representação da rede a ser estudada.....	28
Figura 4.2 - Representação da ação do tempo sobre a rede estudada.....	29
Figura 5.1 - Dados de Entrada do Modelo Protótipo.....	43
Figura 5.2 - Dados de Implementação do Modelo	43
Figura 5.3 - Tela de Processamento do Modelo MINLP.....	44
Figura 5.4 - Configuração das Redes de Operações do Modelo MINLP	45
Figura 5.5 - Tela de processamento do Modelo MILP.....	45
Figura 5.6 - Configuração das Redes de Operações do Modelo MILP.....	46
Figura 6.1 - Alocação de Armazéns para $t = 1$	66
Figura 6.2 - Alocação de Armazéns para $t = 2$	66
Figura 6.3 - Alocação de Armazéns para $t = 3$	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Quadro Resumo de Revisão Bibliográfica	14
Tabela 5.1 - Comparação entre Funções Objetivo dos modelos MINLP e MILP	46
Tabela 5.2 - Média de atendimento da Demanda	47
Tabela 5.3 - Quadro de Resultados dos Problemas Derivados.....	48
Tabela 5.4 – Resultados para FO.....	56
Tabela 5.5 - Resultados para o Tempo de Processamento	57
Tabela 5.6 - Número Total de Armazéns Abertos.....	58
Tabela 5.7 - Número de Compras Efetuadas.....	58
Tabela 6.1- Comparação entre Resultados da FO	68
Tabela 6.2 – Comparação entre Resultados do Estoque de Segurança	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 - Comportamento dos custos com o número de armazéns em um determinado período de tempo.....	3
Gráfico 3.1 - Representação do Lote Econômico para uma demanda fixa	16
Gráfico 3.2 - Composição de estoques e probabilidade de stockouts	17
Gráfico 3.3 - Efeitos do risk pooling sobre o estoque de segurança	23
Gráfico 6.1 – Distribuição Percentual Média de Custos de I-01	59
Gráfico 6.2 – Comparativo de FO para o CONJUNTO I.....	60
Gráfico 6.3 - Comparativo do Efeito do Custo de Transporte	61
Gráfico 6.4 - Comparativo do Efeito do Custo de Ressuprimento.....	62
Gráfico 6.5 - Comparativo do Efeito da Demanda.....	62
Gráfico 6.6 - Comparativo do Efeito de Lead Time.....	63
Gráfico 6.7 – Comparativo de FO do CONJUNTO II	64
Gráfico 6.8 – Distribuição Percentual de Custos Média de I-26.....	65
Gráfico 6.9 - Média do Erro MILP para a Distribuição de Custos.....	70
Gráfico 6.10 - Desvio-Padrão do Erro MILP para a Distribuição de Custos	71

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Custo de ressuprimento
D_{jt}	Demanda da UP j no período t
E_0	Estoque do item no final do período 0 / início do período 1
E_{it}	Estoque referente ao armazém i no período t
G	Número limitante para geração do passo ϕ_{it}^r
i	Índice para armazéns
j	Índice para UPs
k	Índice para UPs diferentes do índice j
L_i	Lead-time de ressuprimento referente ao armazém i
m	número de UPs
M	Custo de manutenção de estoques
n	Número de localidades possíveis para instalação de armazéns
N	Número de partições das funções a ser aproximada por segmentos de reta
P	Custo de colocação de pedido
q_{it}	quantidade comprada para ressuprimento de armazém i no período t
SS_{it}	Estoque de segurança referente ao armazém i no período t
t	Índice para períodos
T_{ij}	Custo de transporte do armazém i para a UP j

u_{itr}	Indicador de ativação do segmento de reta r referente ao armazém i no período t
v_{ijtr}	Varredura do segmento de reta r referente ao armazém i , à UP j e ao período t
w_{ijt}	Percentual de atendimento da demanda da UP j pelo armazém i no período t
y_{it}	Indicador de compra de ressuprimento do armazém i no período t
z_i	Fator de segurança do armazém i
ρ_{jk}	Correlação entre as demanda das UPs j e k
σ_{Dj}	Desvio-padrão da demanda referente à UP j
σ_{Li}	Desvio-padrão do lead-time referente ao armazém i
σ_{Dj}^2	Variância da demanda referente à UP j
σ_{Li}^2	Variância do lead-time referente ao armazém i
ϕ_{it}^r	Abcissa do Limite Superior do segmento r referente ao armazém i no período t .

1. INTRODUÇÃO

O volume de óleo das reservas encontradas na camada pré-sal localizadas entre os estados de Santa Catarina e Espírito Santo foi a maior descoberta do setor petrolífero realizada no país. A existência de grandes volumes de óleo leve eleva a indústria petrolífera brasileira a um novo patamar no cenário internacional. Segundo os valores já estimados para a Bacia de Santos, a acumulação do campo de Tupi tem volumes recuperáveis entre cinco e oito bilhões de barris de óleo equivalente (óleo mais gás). O óleo identificado na bacia tem densidade de 28,5° API, baixa acidez e baixo teor de enxofre, características de um óleo de alta qualidade e alto valor de mercado.

Por conta do grande crescimento de operações da indústria previsto para os próximos anos, investimentos robustos no desenvolvimento de novos métodos e tecnologias para extração geram escala para instalação de novas indústrias de bens e serviços. Do ponto de vista operacional, falhas no planejamento do sistema de abastecimento de petróleo podem determinar ineficiências ou mesmo a interrupção da produção na cadeia como um todo. Mais especificamente, em relação a uma rede logística vinculada à estrutura de apoio para exploração e produção do petróleo, situada mais longe da costa, em profundidades maiores e em local sem infraestrutura implantada, os desafios são ainda maiores. As restrições são consideradas mais rígidas, passa-se a ter necessidade de tratar o problema sob diferentes níveis hierárquicos, e necessita-se a consideração dos riscos e incertezas na abordagem dos problemas e na tomada de decisão.

1.1. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO DO TEMA

A concepção e gestão de uma rede de suprimentos é um dos problemas mais críticos enfrentados por organizações modernas. As empresas precisam ser capazes de avaliar e projetar configurações diferentes para suas redes logísticas. Profissionais de logística devem tomar decisões estratégicas para gerir a incerteza do serviço ao cliente, os custos da rede de distribuição, definindo a política mais adequada para a empresa. Muitas vezes essa análise deve considerar um período de tempo no qual ocorrem mudanças significativas.

Isso significa coordenar a cadeia de suprimentos de forma eficaz, a fim de minimizar os custos e, simultaneamente, otimizar sua localização, a alocação da demanda do cliente para os centros de distribuição, as atividades de transporte de entrada e saída, o produto que flui entre a produção e / ou instalações de armazenamento, os níveis de estoque a serem mantidos em cada instalação, etc. A otimização completa da cadeia de fornecimento é obtida por meio da integração de tomada de decisão estratégica, tática e operacional em termos de gestão, controle e atividades.

Enquanto as decisões locais de instalações normalmente estão no nível estratégico, os modelos de estoque são parte do nível tático de planejamento. Apesar de alguns trabalhos recentes sobre o desenvolvimento de modelos integrados de design e planejamento estratégico, tático, a maioria dos modelos de localização de instalações estratégicas deixa de considerar aspectos da política de estoques no tempo. Nesta pesquisa, foram consideradas de forma explícita e a análise do trade-off entre custo de abertura de uma instalação de armazenamento, custo de transporte, custo de pedido e custo de manutenção de estoques ao longo do tempo. A este problema demos o nome: problema de gerenciamento dinâmico da localização de armazéns e alocação de estoques (PGDAE).

A partir da perspectiva do problema de localização, busca-se entender como a incorporação de estoques de ciclo e de segurança, bem como seus respectivos custos, afetam as decisões de localização. Uma das questões principais quando se estuda problemas de localização de estoques está relacionada com o efeito portfolio, quando da consolidação de estoques. De forma a contornar a incerteza da demanda dos clientes, os estoques de segurança são mantidos para fornecer níveis de serviço adequados aos clientes e para proteger contra variações de curto prazo na demanda e no tempo de transporte para a entrega (lead time). Com a introdução da ação do tempo traduzida por um planejamento por períodos, as decisões tomadas anteriormente interferem sobre a configuração das decisões seguintes. A compra que é realizada pode gerar estoque necessário para ser utilizado no período seguinte. Ou ainda, a abertura de um armazém pode ser necessária inicialmente, porém posteriormente pode não se tornar viável, ou vice e versa.

A alocação de estoques depende do grau de centralização da rede, traduzida pela quantidade de produtos que deve ser mantido em cada unidade, uma vez que um determinado conjunto de mercados (sistemas de produção) é servido a partir dele. Por exemplo, uma rede de distribuição que fornece um alto grau de descentralização é composto de um número maior de armazéns e pode, em última análise, ter um armazém dedicado para cada mercado. Por outro lado, uma rede que tem um alto grau de centralização é composta de um número menor de armazéns, tendo no limite apenas um armazém para servir todos os mercados. É justamente, buscando um equilíbrio das vantagens e desvantagens da estratégia de centralização que é possível encontrar uma solução que incorra nos menores custos para o negócio. (Figura 1.1)

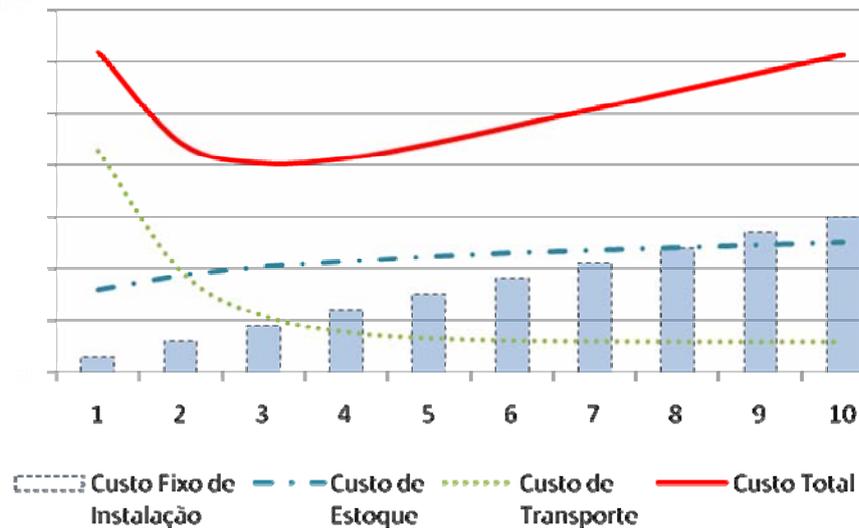


Gráfico 1.1 - Comportamento dos custos com o número de armazéns em um determinado período de tempo.

Adaptado de Figueiredo, Fleury e Wanke (2000).

As principais questões que surgem quando consideradas as condições mencionadas necessitam de apoio de uma ferramenta de análise para processar simultaneamente diferentes aspectos do problema. Entre as principais questões que podem surgir pela análise da localização temos: Quantos armazéns devem ser abertos na rede? Em que período devem ser abertos? Quais são as suas localizações? Qual será o fluxo entre fornecedores e armazéns? Quais são os clientes, e que parte de sua demanda,

devem ser alocados para um armazém particular? E do ponto de vista de inventário: Quais são os níveis ideais de estoque de segurança e de ciclo em cada armazém? Como deve ser colocado o pedido de compra junto ao fornecedor ao longo dos períodos?

1.2. OBJETIVOS

A presente pesquisa consiste em desenvolver um modelo de gestão de estoques que avalie algumas questões estratégicas para o planejamento das operações de abastecimento realizada em plataformas marítimas de extração de óleo. O modelo visa contemplar efeitos de consolidação de estoques, possíveis alternativas a localização dos estoques e variação no tempo. (variação espacial do mercado e de padrões de demanda)

A contribuição desse modelo pretende se estender para além do entendimento dos efeitos do controle de estoques de ciclo e de segurança, espera-se compreender questões relacionadas às políticas de alocação de estoques. Para permitir o discernimento sobre quais políticas são mais adequadas a um determinado conjunto de características de produto, de operação e de demanda, uma análise comparativa dos resultados aponta as características da rede que garantem a otimização dos custos e concluir sobre os efeitos de cada parâmetro do modelo.

1.3. ESTRUTURA

Esse estudo será iniciado com um capítulo de Revisão de Literatura. Nesse capítulo, será contextualizado o tema, mostrando a relação com outros trabalhos, com outros assuntos. Será apresentada a pesquisa bibliográfica já realizada sobre o tema. Primeiro, serão referenciados trabalhos propostos por diferentes autores ao longo do tempo sob diferentes enfoques. Inicialmente serão apresentados resultados de modelos de localização de instalações que consideram custo de estoque simplificado. Em seguida, serão descritos aqueles para modelos que consideram o efeito portfólio e modelos que consideram o efeito consolidação. Logo depois, serão introduzidas a revisão de modelos que consideram incorporação simplificada ou não simplificada dos efeitos de centralização nos modelos de localização de instalações. Por fim, serão

mostradas modelos que consideram incorporação de cross-filling e modelos que consideram incorporação de efeito dinâmico.

O capítulo 3 trata da metodologia de resolução usada na pesquisa. Nesse capítulo será introduzida a metodologia principal a ser seguida para resolver o problema e ser capaz de atingir os objetivos de pesquisa. Será aprofundada a fundamentação teórica necessária do efeito portfolio e do efeito consolidação. Também se busca entender o comportamento dos estoques para o problema de gerenciamento dinâmico de estoques.

No quarto capítulo, é desenvolvido o tema de pesquisa. Inicialmente, são detalhadas as condições do problema estudado, destacando a configuração com a qual a rede de abastecimento de Unidade de Produção (UPs) será representada. Posteriormente, são mostradas as hipóteses relacionadas, bem como a modelagem matemática resultante. São apresentadas duas abordagens: a primeira modelando o problema como um problema não linear inteiro misto (MINLP), que é seguida por uma versão linearizada por partes do problema que torna o modelo um problema linear inteiro misto (MILP).

O quinto capítulo consiste da apresentação dos dados utilizados para a pesquisa, o método de experimentação e dos resultados obtidos. Também é feita a análise de resultados.

No sexto capítulo os resultados serão comparados de forma a identificar as políticas de estoques utilizadas, a distribuição espacial da rede e a configuração ao longo do tempo e os valores envolvidos. As abordagens apresentadas no quarto capítulo também serão comparadas.

Ao final, na conclusão, são discutidos os pontos positivos e negativos envolvidos. São propostas novas linhas de pesquisa para trabalhos futuros de forma a complementar os resultados obtidos.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

O dimensionamento da rede de instalações e a alocação dos estoques são aspectos estratégicos da política de operações de um sistema de abastecimento. Ao se tratar de um não se pode se desfazer do outro. O grau de centralização de uma rede, isto é, a organização de uma rede pelo dimensionamento de instalações de armazenagem para atender um determinado conjunto de mercados consumidores, é também reflexo da alocação da quantidade de produto em cada instalação, a alocação dos estoques.

Assim, pode-se notar que o grau de centralização dos estoques tem uma influência importante no custo total da rede. Entretanto, Wanke (2001) destaca que a maior parte dos modelos matemáticos existentes para a localização de armazéns falha ao não incluir os custos com estoques como um componente de sua função objetivo. Croxton e Zinn (2005) sustentam que a inclusão dos estoques nos modelos de localização de armazéns é tida como necessária na literatura. Das e Tyagi (1997) defendem que as questões de um problema de localização de armazéns somente serão corretamente respondidas se o modelo levar em conta os custos de estoque, tanto de ciclo quanto de segurança. Miranda e Garrido (2004) afirmam que questões como a política de estoques não podem ser negligenciadas nas decisões estratégicas de localização de armazéns.

A presente seção aborda a revisão de literatura pertinente ao problema estudado. Ela está dividida em 7 subseções. São apresentados, primeiramente, modelos de gestão de estoque simplificados. Em seguida, são apresentados trabalhos de autores que aprimoraram os modelos de estoque com a introdução do Efeito *Portfolio* e do Efeito Consolidação.

Nas seções seguintes, são discutidas técnicas de *risk pooling* são introduzidos trabalhos realizados para o gerenciamento dinâmico de estoques. Na sequência são apresentadas publicações de técnicas de tratamento de não-linearidade de problemas. Por fim, é apresentado um quadro com a evolução dos modelos de localização de instalações, abordando também como os mesmos tratam a questão dos estoques na rede de distribuição. O objetivo desta seção é propiciar ao leitor o embasamento teórico da pesquisa desenvolvida nesta dissertação.

2.1. PROBLEMAS DE ALOCAÇÃO DE ESTOQUES SIMPLIFICADOS

Um dos primeiros modelos direcionados aos problemas de estoque, o modelo de Lote Econômico (LEC), lidava com custos de colocação dos pedidos (de compra ou distribuição) e os custos de manutenção de estoques. Entretanto o cálculo do Ponto de Pedido (PP) era feito com base em uma demanda sem incertezas. Segundo Tallon (1993), as incertezas da demanda dos consumidores e do suprimento de produtos por parte de fornecedores, fábricas ou outros canais, requerem que seja mantido um estoque adicional para os produtos armazenados, um estoque de segurança.

Muitos modelos para o problema de localização de instalações foram construídos ao longo do tempo. Modelos que introduziam o custo de estoque simplificado ao problema foram apresentados por Jayaraman (1998). Dotado de uma análise de múltiplos produtos, múltiplos meios de transporte e custos fixos de abertura, a formulação insere o estoque de ciclo simultaneamente ao estoque de trânsito. Jayaraman e Pirkul (1999) ampliaram a proposta anterior com a adição de localização de armazéns e a especificação de capacidades para o problema. Davariz (2006) analisa a rede de distribuição do biodiesel e utiliza o modelo proposto por Jayaraman.

Ainda entre modelos que consideram o custo de estoque simplificado, abordagens alternativas para o custo de ciclo foram trazidas por Ambrosino e Scutellà (2004). Modelos estáticos e dinâmicos foram discutidos, bem como a introdução de armazéns intermediários.

2.2. MODELOS COM INCORPORAÇÃO DE EFEITO PORTFOLIO

Os modelos de localização de instalações com o efeito de centralização de estoques já vinham sendo apresentados há alguns anos no meio científico. Maister (1976) e posteriormente Zinn et al. (1989) mostraram que a centralização de estoques pode reduzir o nível de estoques de segurança da rede, reduzindo o custo total de manutenção de estoques. Mahmoud (1992) mostrou que substanciais economias de escala resultam da consolidação dos estoques de segurança sempre que os mesmos são centralizados. Tallon (1993) afirma que a um mesmo nível de serviço, a centralização

permite reduzir o estoque de segurança por conta da diluição das incertezas da demanda entre os armazéns centralizados.

Evers e Beier (1993) apresentaram um modelo que considerou incertezas relativas ao *lead-time* de ressuprimento. Em seu estudo, os autores incluíram uma variável que define a proporção da demanda atendida por cada armazém e concluíram que a redução de estoque é determinada pelo inverso do número de armazéns centralizados calculados pelo modelo.

Novamente em um estudo posterior, Evers e Beier (1998) compararam seu estudo de Tallon (1993). Em sua formulação do Efeito *Portfolio* que também levou em conta as correlações entre as demandas atendidas pelos armazéns, assim como as incertezas na demanda e no *lead-time* de ressuprimento. Entretanto Evers e Beier consideraram as premissas pouco realistas. Os autores também se utilizaram de uma análise de sensibilidade para verificar os efeitos da demanda e do *lead-time* nas economias decorrente da centralização. Foi mostrado que o Efeito *Portfolio* é uma função da demanda média e sua variabilidade, indicando os melhores itens a ser centralizados. Já a diferença do valor do Efeito *Portfolio* entre as possíveis localizações para o estoque centralizado é uma função do *lead-time* de ressuprimento e sua variabilidade, indicando as melhores localizações.

Para Das e Tyagi (1997), O Efeito *Portfolio* é maximizado quando armazéns fornecem uma fração da demanda e a economia com a centralização não depende do número ou do tamanho dos armazéns. A centralização dos estoques gera economias no que diz respeito ao transporte de suprimento, pois há maior consolidação do frete das fábricas para os armazéns.

As teorias utilizadas no Efeito *Portfolio* foram aplicadas de maneira simplificada em modelos de localização. Mahmoud (1992), introduziu o conceito de Efeito Quantidade de *Portfolio*, extensão do conceito de Efeito *Portfolio*, no qual são refletidas as diferentes reduções de estoque de segurança nos diferentes armazéns. O autor também avalia sub-centralizações e seus efeitos para a otimização do modelo.

Das e Tyagi (1999) mostraram situações em que as sub-centralizações favoreceram o Efeito *Portfolio*. Com um modelo de programação não-linear, consideraram correlações entre os mercados. Quando mercados possuíam correlações positivas, os mercados são alocados a um mesmo armazém e o Estoque de Segurança é

maior. Ao contrário, se a correlação é negativa, o nível de estoque de seguranças é menor.

Por meio da Regra da Raiz Quadrada para calcular os custos de manutenção de estoques, Croxton e Zinn (2005) propuseram um modelo com comportamento não linear. Foi considerado um conjunto de localizações pré-determinado, custos de manutenção de estoques e custos de transportes.

2.3. MODELOS COM INCORPORAÇÃO DE EFEITO CONSOLIDAÇÃO

Dentre os modelos que passaram a incorporar o Efeito Consolidação, aqueles que introduzem o estoque de ciclo podem ser encontrados entre publicações como as de Evers (1995). A consolidação, segundo Evers, é a redução percentual do estoque total médio devido à centralização. A máxima redução se dá quando as demandas não são igualmente distribuídas. Nesse caso, o efeito consolidação considera a centralização simultânea dos estoques de ciclo e de segurança.

Wanke (2009) propõe o Efeito Consolidação com diferentes demandas, *lead-times* (em termos de média e desvio padrão) e correlações entre demandas. A variável de maior relevância no Efeito Consolidação está na variância do *lead-time*. A centralização ocorre nos armazéns com menor *lead-time* de ressuprimento. Montebeller (2009) elaborou um modelo de otimização no qual se considerou simultaneamente os estoques de ciclo e de segurança, bem como *lead-times* de ressuprimento, correlação entre demandas, desvios-padrão para a média e para a demanda.

As teorias utilizadas no Efeito Portfólio e no Efeito Consolidação foram aplicadas de maneira não-simplificada em modelos de localização. Ballou (1984), apresentou um modelo conhecido como DISPLAN, dotado de método heurístico para o problema de funções objetivo não-lineares.

Tyagi e Das (1997), introduziram um modelo com estoques de segurança e de ciclo que determina número de armazéns, localização e capacidade, alocação de mercado. O modelo abrange a minimização de custos de colocação de pedido, custo de manutenção de estoques de ciclo e de segurança e custo de transporte, com localizações pré-definidas.

Miranda e Garrida (2004), por meio de um método de programação não-linear inteira mista, propôs um modelo de localização com custo fixo e capacidade. A formulação tem por objetivo de minimizar o custo fixo, custo de manutenção de estoques de ciclo e de segurança, custo de transporte e custo de pedido. A correlação entre demandas é considerada nula e foi considerado um alto número de localizações e mercados. A solução foi alcançada por Relaxação Lagrangeana e Método do subgradiente.

2.4. MODELOS COM COMPARTILHAMENTO DO ATENDIMENTO – TÉCNICAS DE *RISK POOLING*

As técnicas de *risk pooling* visam a mitigação do risco decorrente das flutuações de demanda de consumidores separados geográfica ou comercialmente, em se compartilhando uma unidade de distribuição na rede. A centralização dos estoques consiste na consolidação dos mesmos em um número limitado de localidades a partir das quais as todas as demandas são atendidas. Jorge (2008) afirma que dentre as diversas decisões diretamente ligadas à alocação dos estoques, somente aquelas pertencentes ao conjunto das estratégias *de risk pooling* podem ser consideradas realmente impactantes no planejamento de redes de distribuição.

Muitos modelos passaram a considerar também que cada mercado da rede não é servido apenas por um único armazém. Ballou e Burnetas (2003) afirmam que, é muito comum que quando a quantidade de produtos presente em um armazém de alocação primária não é suficiente para atender a um mercado, mercadorias de outro armazém de alocação secundária sejam transferidas, prática conhecida como *cross-filling*. Os autores também concluíram que se por um lado essa prática aumenta os estoques de ciclo, por outro diminui os estoques de segurança, quando comparados ao caso onde todas as demandas estão centralizadas em um único armazém.

Por outro lado, a não utilização de *risk pooling* também pode ser utilizada para tratar as questões relacionadas a estoques na rede de distribuição. Essa situação se caracteriza pela dedicação exclusiva de um armazém a um único mercado estudada por Wanke e Saliby (2009).

2.5. MODELOS COM DEMANDA VARIÁVEL NO TEMPO

Uma premissa fundamental até aqui na formulação de todos os modelos é a existência de uma demanda contínua e com distribuição constante ao longo do tempo. Entretanto, em muitas situações práticas, este pressuposto é uma simplificação exagerada da realidade. A consideração de demanda variável no tempo traz complexidades que dificultam os procedimentos de otimização, podendo até mesmo tornar excessivamente árduo e oneroso a busca de uma solução ótima. Neste sentido, métodos aproximados, conhecidos como heurísticas, são em geral abordagens úteis para se lidar com este tipo de problema. (Garcia et al., 2006)

Um dos modelos mais importantes que lidam com demanda determinística variável no tempo, segundo Garcia et al. (2006), é o modelo de Wagner-Whitin. Os pressupostos são os mesmos do LEC, exceto pelo fato da demanda poder variar no tempo. Este é formulado como um modelo de programação matemática, usando programação dinâmica ou programação inteira mista. Os custos presentes são os mesmos do LEC, com exceção de que os custos de estoque são calculados com base nas quantidades restantes ao final de cada período. A mudança destes custos para serem baseados no estoque médio, como no LEC, não altera em nada a lógica do problema.

Algumas heurísticas inclusive podem gerar resultados mais estáveis em ambientes de planejamento nos quais as previsões de demanda são revisadas periodicamente. Além disso, heurísticas são por vezes, métodos mais intuitivos sendo, portanto mais fáceis de serem entendidos e aplicados por gerentes em seus processos de tomada de decisões. Uma das heurísticas mais usadas em substituição ao modelo de Wagner-Whitin é a heurística de Silver-Meal, também conhecida como LPC (*Least Period Cost*). Esta heurística computa o custo médio por período como uma função do número de períodos do horizonte analisado. (Peterson et al., 1998)

Outras heurísticas conhecidas são: POQ (*Periodic Order Quantity*), Lote-a-Lote, LUC (*Least Unit Cost*) e PPB (*Part-Period Balancing*). (Peterson et al., 1998) O POQ é equivalente ao LEC expresso como tempo de cobertura do pedido, sendo calculado exatamente pela fórmula do ciclo do pedido. O Lote-a-Lote é a abordagem mais simples: pede-se apenas a quantidade estritamente necessária para o período em

questão, não levando em conta as possibilidades de economias de escala pela diluição do custo fixo em lotes maiores. Este método minimiza os estoques, mas não é eficiente se os custos fixos por pedido forem relevantes. O LUC é equivalente à heurística de Silver-Meal, exceto pelo fato de que se minimiza o custo médio por unidade pedida ao invés do custo médio por período. O PPB escolhe o tamanho do horizonte a ser coberto por um pedido de forma a balancear o custo de estoque e o custo fixo por pedido. Escolhe-se assim o pedido de maneira que o custo de estoque seja o mais próximo possível do custo fixo.

2.6. MÉTODOS DE TRATAMENTO DE PROBLEMAS NÃO-LINEARES

Muitas vezes as formulações desenvolvidas incorrem em complicações de processamento durante sua aplicação. Mesmo máquinas robustas acabam sendo utilizadas ao seu limite de capacidade e não são capazes de encontrar soluções para os problemas de otimização. Há, porém recursos na literatura que permitem reformular o problema original de forma a torná-lo mais maleável, sem perdas significativas de análise do problema. Muitos desses métodos são utilizados para problemas que incorrem em alguma não-linearidade de suas restrições ou de sua função objetivo.

Vidyarthi et al.(2007) consideram um modelo que trata de produção, distribuição e alocação de estoques que lida com os trade-offs de custos. O modelo é formulado como um problema de programação não linear inteira mista e linearizados utilizando funções lineares por partes. A formulação é reforçada com restrições redundantes.

You e Grossmann (2008) trataram, simultaneamente, a otimização de estoques e configuração de rede de suprimentos sob ação da incerteza da demanda. Isto conduz a um problema que requer a integração de um modelo estocástico de estoques com localização de elementos de uma cadeia de suprimentos. O modelo é formulado como um problema de programação não-linear inteiro. , Reformulando-o como um problema não-linear de programação inteira mista (MINLP) e utilizando um modelo de relaxamento associado convexo para inicialização, os autores propõem uma heurística e um algoritmo baseado em decomposição Lagrangeana.

2.7. QUADRO RESUMO PARA A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, são resumidos os trabalhos discutidos na revisão bibliográfica. As informações apresentadas foram agrupadas de forma contemplar os assuntos discutidos nas subseções anteriores.

Custo de Estoque Simplificado			
<i>Componente(s) da Rede Presente(s)</i>	<i>Abordagem Matemática</i>	<i>Política de Alocação</i>	<i>Importância do Estudo</i>
Tallon (1993)			
Estoques de segurança	Desenvolvimento analítico	Sistemas Independentes	Concluiu que existem relevantes interações entre demanda e incertezas do lead-time de ressuprimento
Jayaraman (1998)			
Jayaraman e Pirkul (1999)			
Ambrosino e Scutellà (2004)			

Centralização e Risk Pooling			
<i>Componente(s) da Rede Presente(s)</i>	<i>Abordagem Matemática</i>	<i>Política de Alocação</i>	<i>Importância do Estudo</i>
Ballou e Burnetas (2003)			
Wanke e Saliby (2009)			
Transporte (distribuição); estoques de ciclo e segurança	Programação não-linear	Cross-filling, centralização e sistemas independentes	Caracterizaram as diferentes políticas de alocação de estoques em termos das demandas dos mercados, lead-times de ressuprimento, custos de manutenção de estoques, custos totais de distribuição, custos totais de estoques e fill-rate

Efeito Portfólio			
<i>Componente(s) da Rede Presente(s)</i>	<i>Abordagem Matemática</i>	<i>Política de Alocação</i>	<i>Importância do Estudo</i>
Maister (1976)			
Zinn et al (1989)			
Mahmoud (1992)			
Tallon (1993)			
Evers e Beier (1993)			
Tyagi e Das (1997)			
Evers e Beier (1998)			
Estoques de segurança	Desenvolvimento Analítico	Cross-filling, centralização e sistemas independentes	Concluíram que incertezas do lead-time parecem ser um fator crucial para se escolher a localidade da instalação centralizada

Efeito Consolidação			
<i>Componente(s) da Rede Presente(s)</i>	<i>Abordagem Matemática</i>	<i>Política de Alocação</i>	<i>Importância do Estudo</i>
Evers (1995)			
Estoques de ciclo e segurança	Programação não-linear	Cross-filling, centralização e sistemas independentes	Concluiu que o Efeito de Consolidação é maximizado quando as demandas das instalações descentralizadas n são igualmente divididas entre as instalações centralizadas m (1/m)
Wanke (2009)			

Incorporação de Variação da Demanda no Tempo			
<i>Componente(s) da Rede Presente(s)</i>	<i>Abordagem Matemática</i>	<i>Política de Alocação</i>	<i>Importância do Estudo</i>
Peterson et al (1998)			
Custo de ressuprimento e estoques de ciclo	Programação linear inteira-mista, Programação Dinâmica	Não Aplicável	Consideração de variações determinísticas da demanda no tempo, utilização Algoritmode Wagner-Whitin e implementação de heurísticas Silver-Meal, Periodic Order Quantity (POQ), Lote-a-Lote, Least Unit Cost (LUC) e Part-Period Balancing (PPB)
Ferreira Filho et al (2006)			

Tabela 2.1 - Quadro Resumo de Revisão Bibliográfica

3. METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO

Nesta seção são revistas as principais políticas de gerenciamento de estoques. Inicialmente são apresentados os modelos básicos para um único armazém e um único produto: o modelo de Lote Econômico (LEC) com Ponto de Pedido (PP). Em seguida, são mostradas técnicas de gerenciamento de estoques a partir de mais de um armazém, conhecidas na literatura por técnicas de *Risk Pooling*.

O Efeito Consolidação é novamente estudado na terceira subseção, sob um olhar mais detalhado de sua formulação. Na sequência são apresentados os modelos que consideram a variação da demanda ao longo do tempo, isto é, que tratam do gerenciamento dinâmico dos estoques. Por fim, o método de linearização por partes é discutido.

3.1. MODELOS COM ESTOQUE DE ESTOQUE SIMPLIFICADOS

Em uma das primeiras tentativas de se otimizar os níveis de estoque, considerou-se o caso em que a demanda é contínua e perpétua. Foi segundo essa premissa que o modelo de Lote Econômico (LEC) e de Ponto de Pedido (PP) foram baseados. Posteriormente, entretanto considerou-se as demandas e os lead times de ressuprimento passaram a ser probabilísticos.

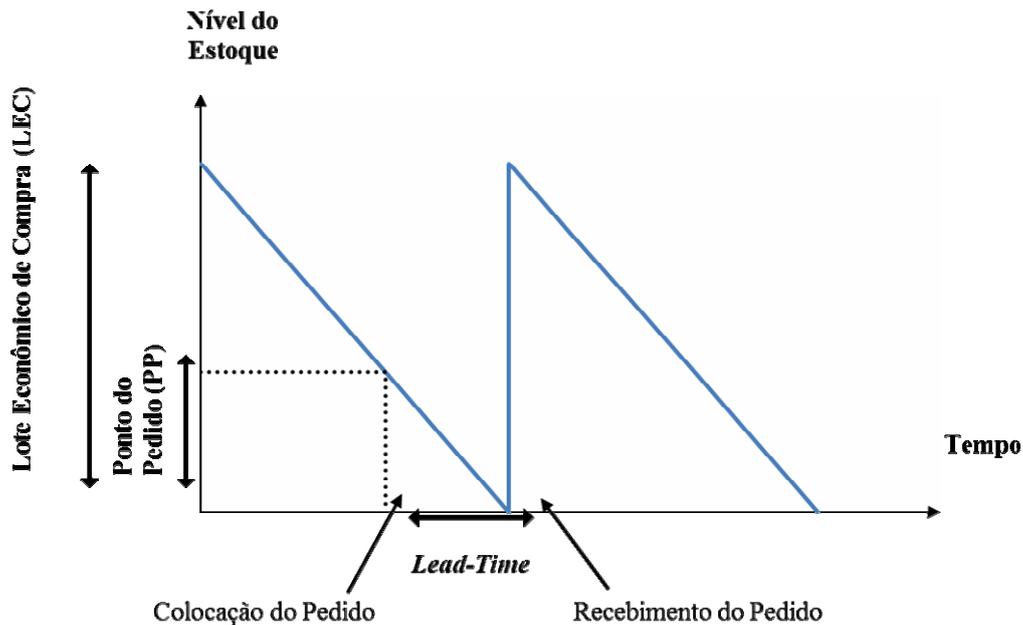


Gráfico 3.1 - Representação do Lote Econômico para uma demanda fixa

O LEC caracteriza os estoques de ciclo, ou seja, aqueles que são utilizados para se atender ciclicamente a demanda propriamente dita, sem levar em conta as variações que a mesma pode apresentar durante o lead-time. Na sua determinação, é utilizado o conceito de minimização dos custos totais. Quando se considera a demanda constante, o custo total (CT) engloba os custos de colocação dos pedidos (de compra ou distribuição) e os custos de manutenção de estoques. O LEC é o lote que minimiza o CT. Para se encontrar o LEC, deriva-se a expressão do CT em relação a quantidade a ser pedida do produto e iguala-se a fórmula obtida a zero. O ponto de pedido (PP), por sua vez, é o momento no qual se deve pedir um ressurgimento. Num mundo sem incertezas, a taxa de consumo dos produtos é totalmente previsível, assim como o tempo de entrega. Assim, sabe-se com precisão o momento no qual o nível de estoques chegará a zero, que caracteriza o momento do reabastecimento. (Wanke, 2008) Para isso, considera-se o lead time (LT) desde a colocação do pedido até o reabastecimento. PP é tão somente o momento de pedir traduzido em termos do nível de estoques (em unidades).

Entretanto, as incertezas da demanda dos consumidores e do suprimento de produtos por parte de fornecedores, fábricas ou outros canais, requerem um cuidado adicional. A forma de fazer isto, nos modelos tradicionais de LEC e PP é através da

manutenção de um estoque adicional para os produtos armazenados (Tallon, 1993), de modo a se obter uma proteção quanto à probabilidade de um stockout (falta de produto). A este estoque denomina-se Estoque de Segurança (ES). A determinação de ES deve considerar, dessa maneira, a variabilidade (desvio-padrão) da demanda durante o lead time. A distribuição de probabilidade da demanda durante o lead time é frequentemente considerada aderente à distribuição normal. Neste caso, pode-se determinar facilmente a probabilidade de não faltar produto. Ela é a densidade acumulada (área abaixo da curva) da distribuição normal até o limite estabelecido por PP' , como mostra a Figura 2. O estoque de segurança neste caso será dado pela diferença entre o ponto de pedido que assegura a probabilidade de não faltar produto PP' e a demanda média.

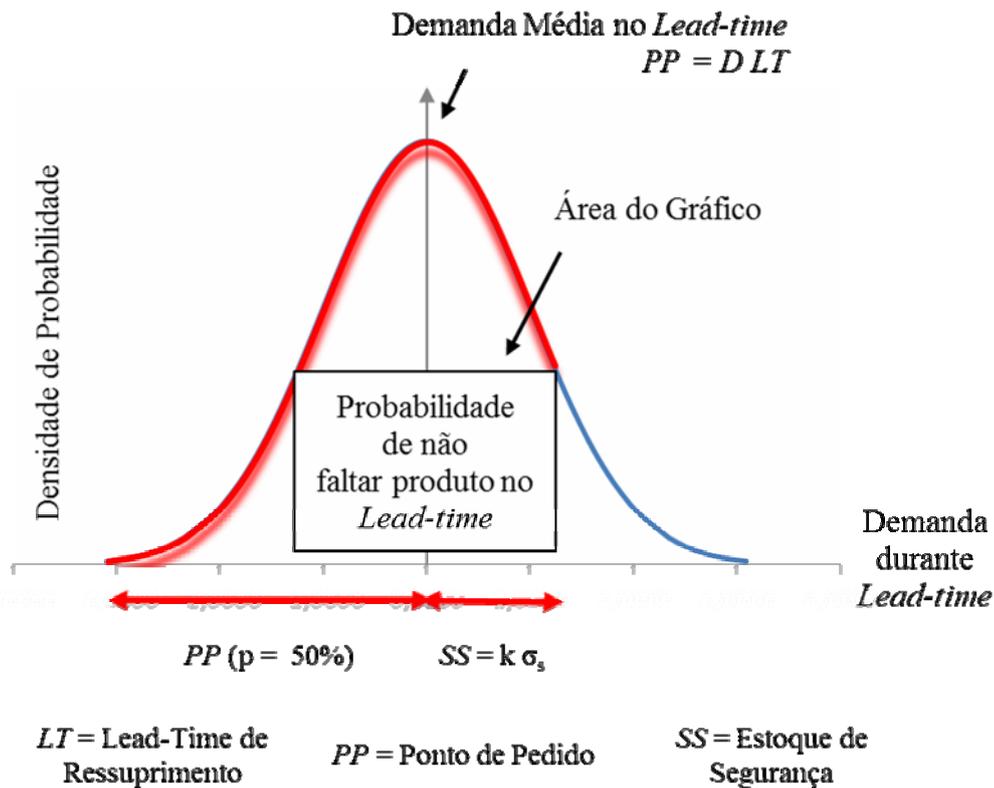


Gráfico 3.2 - Composição de estoques e probabilidade de stockouts

3.2. RISK POOLING

Os modelos de Lote Econômico e Ponto de Pedido foram desenvolvidos num ambiente de um único produto sendo fornecido a partir de um único armazém. Quando mais de um armazém pode fornecer o produto é necessário estabelecer uma política de gerenciamento dos armazéns. A bibliografia sobre *risk pooling* pode ser dividida em quatro grupos de assuntos mais específicos (Jorge, 2008): a centralização dos estoques, a análise de múltiplas fontes de fornecimento, a transferência de estoques entre centros de distribuição e a padronização de componentes ou peças para produção ou reposição. A finalidade das políticas de *risk pooling* é a mitigação do risco decorrente das flutuações de demanda de consumidores separados geograficamente ou mercadologicamente, se compartilhando uma unidade de armazenagem na rede.

A centralização dos estoques é também conhecida como consolidação dos estoques, *inventory pooling*, *demandpooling*, *portfolio effect*, *consolidation effect* e *virtual inventory management*. Ela consiste na consolidação física dos estoques em um número limitado de localidades (frequentemente uma única instalação), a partir das quais as todas as demandas são atendidas. A centralização dos estoques de segurança é tratada nos trabalhos de Maister (1976); Zinn, Levy e Bowersox (1989); Mahmoud (1992); Evers e Beier (1993); Tallon (1993); Evers e Beier (1998); e Tyagi e Das (1998). Já a centralização de ambos os estoques de ciclo pode ser encontrada nos trabalhos de Evers (1995) e Wanke (2009).

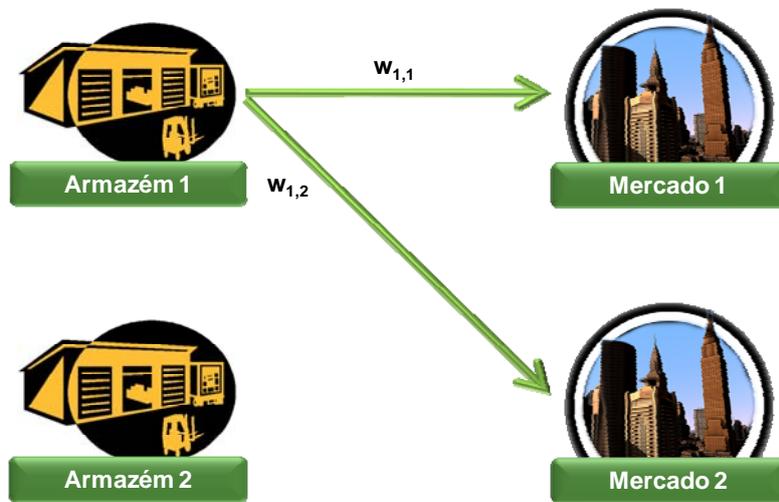
A análise de múltiplas fontes de fornecimento (*order splitting*) tem por objetivo mitigar os riscos relacionados às variações aleatórias no *lead time* de ressurgimento (Jorge, 2008). Segundo Evers (1999), *order splitting* ocorre quando uma instalação que mantém estoques opera independentemente das outras ao gerenciar seu ressurgimento, dividindo, para isso, seus pedidos de ressurgimento (não necessariamente de maneira uniforme) entre múltiplos fornecedores.

A existência de múltiplos armazéns possibilita a transferência de estoques de um centro de distribuição para uma região de mercado atendida por outro centro de distribuição, prática conhecida como transferências regulares, *transshipments* ou *cross-filling*. Ballou e Burnetas (2003) afirmam que é importante que sejam determinados os

efeitos do *cross-filling* quando são considerados simultaneamente os estoques de ciclo e segurança nos problemas de localização de instalações e alocação de estoques.

A padronização de componentes ou peças para produção é o recurso usado para reduzir riscos decorrentes da falta de capacidade de repor uma determinada peça em falta. Os componentes ou peças que servem a mais de um produto, permitem intercambialidade entre os estoques. (Jorge, 2008)

Em decorrência das técnicas mostradas é possível destacar configurações *risk pooling* para um sistema armazém-mercado. (Wanke e Saliby, 2009) A primeira é a centralização total dos estoques em um único armazém. Essa política é ilustrada esquematicamente na *Figura 3.1* para o caso particular com dois armazéns e dois mercados. Nela, as demandas de todos os mercados consumidores são alocadas a um único armazém.



$w_{i,j}$ = Proporção da Demanda do mercado i alocada ao armazém j

Figura 3.1 - Centralização de Estoques

A segunda política destacada por Wanke e Saliby (2009) é a de sistemas independentes, caracterizada pela dedicação total dos armazéns aos mercados e ausência

total de *risk pooling*. Em outras palavras, cada mercado é atendido exclusivamente por um único armazém. A política de sistemas independentes é ilustrada na Figura 3.2 para o caso particular com dois armazéns e dois mercados.

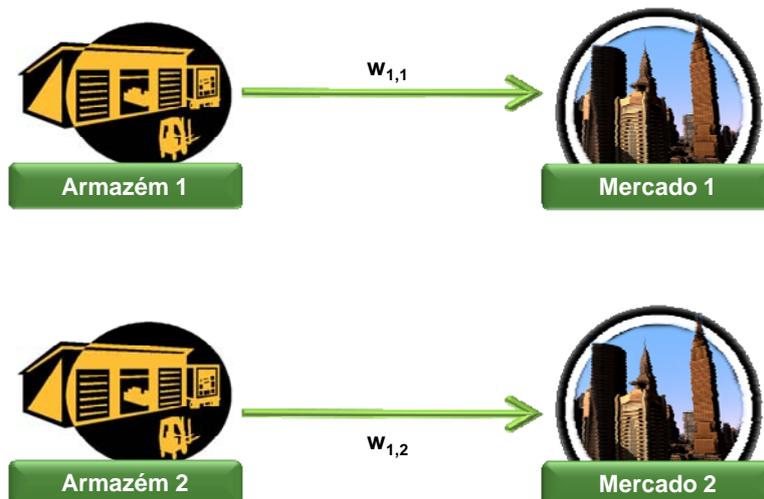


Figura 3.2 - Sistemas independentes

A terceira política é de transferências regulares ou *cross-filling* total (Ballou e Burnetas, 2003). Nessa política todos os mercados são servidos por todos os armazéns presentes na rede. Ela é ilustrada na Figura 3.3 para o caso particular com dois armazéns e dois mercados.

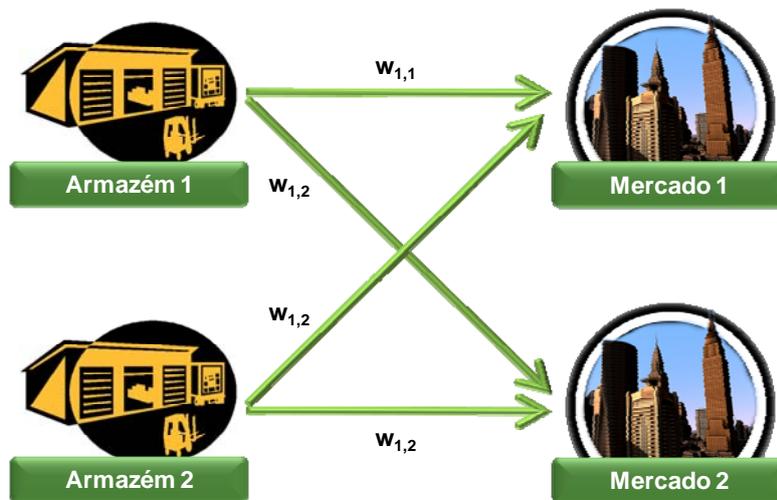


Figura 3.3 - Cross-Filling Total

É possível que haja uma configuração mista de duas, ou de todas, as políticas citadas anteriormente. Em redes mais complexas e maiores, há maior incidência de sistemas mistos. Inclusive, é comum a formação de subsistemas que realizam políticas distintas entre si.

3.3. EFEITOS DO RISK POOLING SOBRE OS ESTOQUES

A decisão de centralização de estoques de uma rede é uma consequência das políticas de *risk pooling*. Na literatura diversos trabalhos se aprofundaram no assunto e como resultado, há diversos modelos que discutem o assunto.

Maister (1976) mostrou que quando se diminui o número de armazéns em uma rede para somente um, os estoques de segurança diminuem proporcionalmente à raiz quadrada do número de armazéns. A redução no nível de estoque de segurança agregado é devido ao efeito estatístico de se somarem os desvios-padrão ao quadrado e depois se extrair a raiz quadrada dessa soma. Assim, o nível de serviço desejado, ou seja, a probabilidade de não haver *stockout*, pode ser mantido com uma menor

quantidade de estoques de segurança centralizados comparado aos múltiplos estoques de segurança descentralizados (Tallon, 1993).

Daskin e Coullard (2002) mostram que para demandas não correlacionadas, a quantidade total de estoque de segurança sob a modalidade descentralizada (sem *risk pooling*) é dada por:

$$SS_i = z_\alpha \sum_j L_i \sigma_j, \quad (3,1)$$

enquanto no modo centralizado (com *risk pooling*) é:

$$SS_i = z_\alpha \sqrt{\sum_j L_i \sigma_j^2}. \quad (3,2)$$

Onde

SS_i Estoque de segurança do armazém i

z_α Fator de Segurança com nível de serviço α

L_i Lead-time associado ao armazém i

σ_j Desvio-padrão do cliente j

O estoque de segurança centralizado é menor que o estoque de segurança descentralizado (*Figura 3.4*). Assim, uma economia considerável no custo de estoque pode ser alcançada pela política de centralização de estoques / centralização do risco. Claramente, isto depende da atribuição de clientes para CDs, que não é conhecido antecipadamente e deve ser determinada de forma endógena. A fim de determinar simultaneamente a atribuição de clientes para CDs, e os níveis de estoque de segurança (SS_i) usamos a expressão

$$SS_i = z_\alpha \sqrt{\sum_j L_i \sigma_j^2 y_{ij}} \quad (3.3)$$

onde y_{ij} é a variável binária que associa o cliente j ao depósito i .

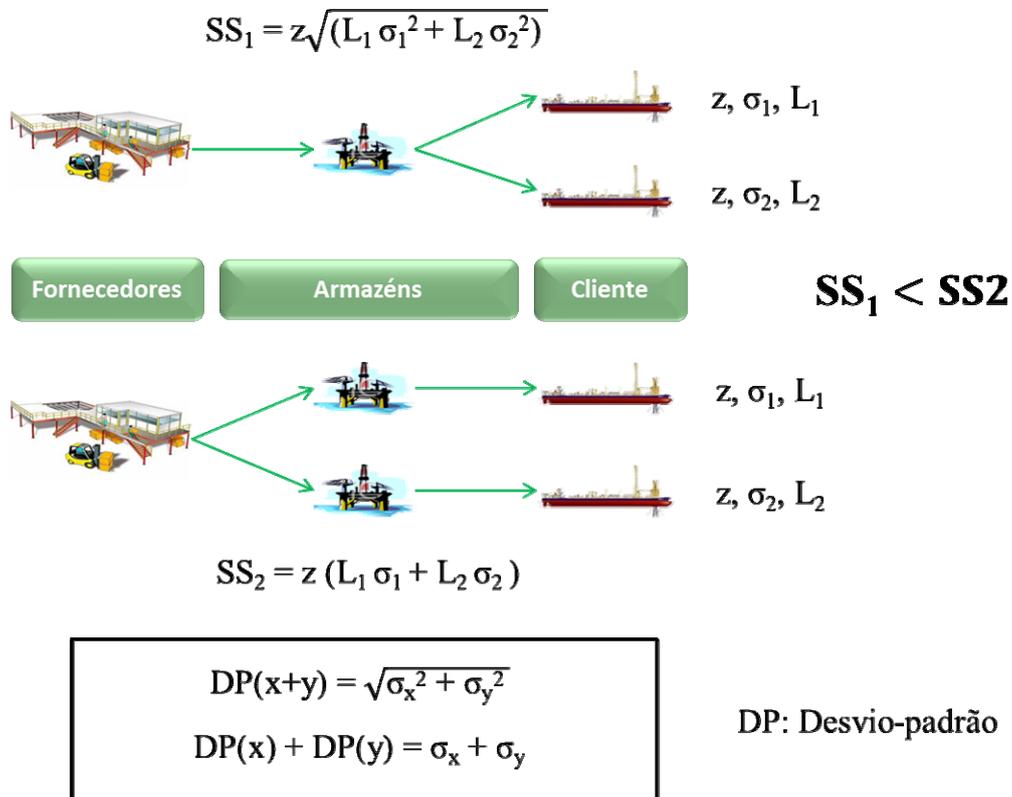


Gráfico 3.3 - Efeitos do risk pooling sobre o estoque de segurança

3.4. MODELOS COM DEMANDA VARIÁVEL NO TEMPO

Ao contrário do que a maioria dos modelos considera para como premissa para um problema, a demanda pode não ser contínua e constante. Pode-se estar incorrendo em uma simplificação grosseira caso seja desconsiderada a variabilidade no tempo. Modelos que levem em consideração variações determinísticas da demanda no tempo têm grande potencial de redução de custos em uma série de ambientes. Em casos com a demanda sazonal, demanda com tendência de crescimento ou queda e manufaturas com múltiplos níveis são exemplos de aplicações destes modelos.

A consideração de demanda variável no tempo traz entretanto, complexidades que dificultam os procedimentos de otimização, podendo até mesmo tornar excessivamente árduo e oneroso a busca de uma solução ótima. Neste sentido, métodos

aproximados, conhecidos como heurísticas, são em geral abordagens úteis para se lidar com este tipo de problema. (Garcia et al., 2006)

Um dos modelos mais importantes que lidam com demanda determinística variável no tempo é o modelo de Wagner-Whitin. Os pressupostos são os mesmos do LEC, exceto pelo fato da demanda poder variar no tempo. Este é formulado como um modelo de programação matemática, usando programação dinâmica ou programação inteira mista. Sua formulação como um problema de programação linear inteira mista (MILP, Mixed Integer Linear Problem) para um item genérico é:

$$\text{Min} \left\{ CT = \sum_{t=1}^T M \cdot E_t + F \cdot y_t + v \cdot q_t \right\} \quad (3.4)$$

Sujeito a

$$E_t = E_{t-1} + q_t - D_t \quad , 1 \leq t \leq T \quad (3.5)$$

$$E_0 = E^0 \quad (3.6)$$

$$q_t \leq G \cdot y_t \quad , \forall t \quad (3.7)$$

$$q_t, E_t \geq 0 \quad , \forall t \quad (3.8)$$

$$y_t \in \{0,1\} \quad , \forall t \quad (3.9)$$

Sendo:

E_t Estoque do item no final do período t (unidades).

q_t Quantidade pedida para chegar no começo do período t (unidades).

D_t Demanda do item no período t (unidades).

M Custo de manutenção de estoque por unidade estocada por unidade de tempo (\$ / unidade x tempo).

F Custo fixo por pedido (\$).

v Custo variável por unidade pedida (\$ / unidade).

- E_0 Estoque do item no final do período 0 / início do período 1 (unidades).
- y_t Variável binária que é igual a 1 caso um ressuprimento ocorra no período t e 0 caso não ocorra ressuprimento em t .
- G Um constante, tão grande quanto necessário, para não restringir o tamanho do pedido caso δt seja igual a 1.

3.5. MÉTODO DE LINEARIZAÇÃO POR PARTES

Muitas vezes a formulação de um modelo gera complicações de cálculos que tornam difícil a obtenção de resultados para o problema. Isso ocorre devido à complexidade do modelo, ou por conta da quantidade de dados em processamento. Uma destas dificuldades decorre de relações não lineares presentes na formulação do modelo. Para contornar esta dificuldade um dos métodos difundidos na literatura é o método de linearização por partes. Sua principal vantagem é poder fazer uso dos diversos resolvidores de programação linear disponíveis.

O objetivo desse método é substituir a relação de não-linearidade por uma aproximação linear. Para isso, segmentos de reta aderentes a função que se pretende substituir são inseridos. A segmentação é realizada por meio de uma variável binária.

A expressão (3.2) apresentada na subseção 3.3, pode ser expressa de forma linearizada por partes da seguinte maneira:

$$SS_i = z_\alpha \sum_{r \in R} (F_i^r u_i^r + C_i^r v_{ij}^r) \quad (3.10)$$

Onde

F_i^r Coeficiente Linear para a partição r associado ao armazém i

C_i^r Coeficiente Angular para a partição r associado ao armazém i

u_i^r Variável que ativa a partição r associada ao armazém i

v_{ij}^r Variável que realiza varredura na partição r associada ao armazém i e cliente j

Sujeita às seguintes restrições

$$\sum_j L_i \sigma_j^2 y_{ij} = \sum_r \sum_j v_{ij}^r \quad \forall i \quad (3.11)$$

$$\phi_i^{r-1} u_i^r \leq \sum_j v_{ij}^r \leq \phi_i^r u_i^r \quad \forall i, r \quad (3.12)$$

$$\sum_r u_i^r \leq 1 \quad \forall i \quad (3.13)$$

$$v_{ij}^r \geq 0 \quad \forall i, j \quad (3.14)$$

$$u_i^r \in \{0,1\} \quad \forall i, r \quad (3.15)$$

As restrições (3.10) traduzem a linearização da não-linearidade existente no estoque de segurança provocada pela função raiz quadrada. Ela indica que o estoque de segurança agora é descrito por um conjunto de segmentos de reta, substituindo a restrição (3.3). Em (3.11), são estabelecidas as relações entre as variáveis v_{ij}^r e y_{ij} . Em (3.12), é escolhido o segmento de reta correspondente aos valores assumidos pelas variáveis v_{ij}^r provocam valores entre as extremidades do segmento de reta. A restrição (3.13) condiciona que somente pode haver um único segmento de reta associado a cada armazém. As restrições (3.14) e (3.15) refletem o domínio das variáveis introduzidas.

Como resultado a função é aproximada por segmentos de reta, conforme mostrado no *Figura 3.4*.

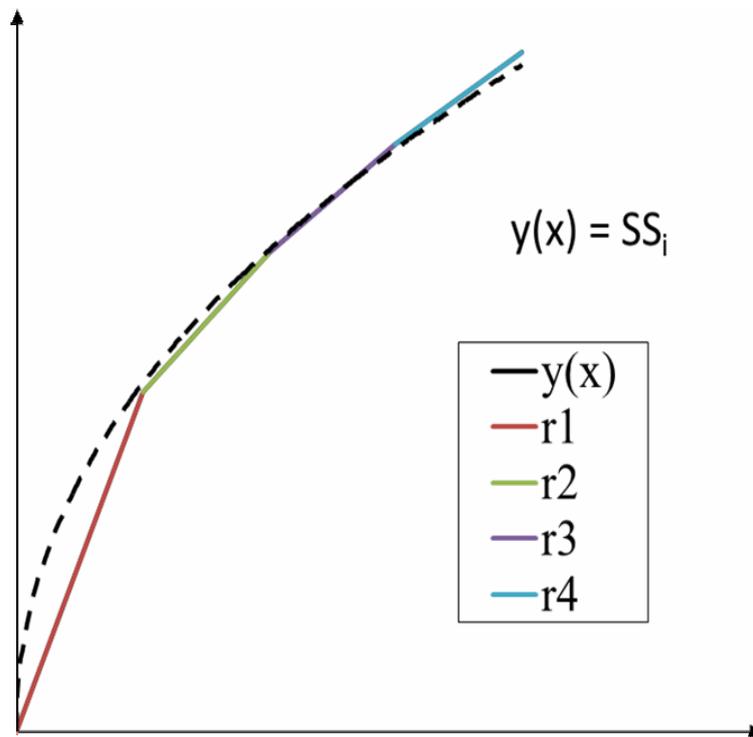


Figura 3.4- Linearização por Partes da função Estoque de Segurança

4. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Para a produção de petróleo no mar as Unidades de Produção (UPs) devem ser convenientemente supridas tanto com materiais de consumo tais como água, diesel, produtos químicos essenciais ao processo produtivo, quanto com peças de reposição e eventualmente equipamentos e peças para atualização da planta. Algumas destas necessidades têm uma demanda bem conhecida e determinada, enquanto outras têm uma natureza altamente aleatória.

A presente pesquisa visa tratar do problema de abastecimento de UPs por meio de gerenciamento dinâmico de estoques. O modelo a ser proposto consiste de UPs sendo supridas por armazéns localizados ao mar, e estes supridos por fornecedores localizados em terra. A demanda das UPs por materiais e equipamentos deve ser suprida de maneira adequada com o mínimo de custos envolvidos. Trata-se de permitir que sejam abertos armazéns estrategicamente localizados para atender a demanda das UPs ao longo de cada período de tempo, evitando custos de manutenção de estoques, transporte, abertura de armazém e colocação de pedidos desnecessários.

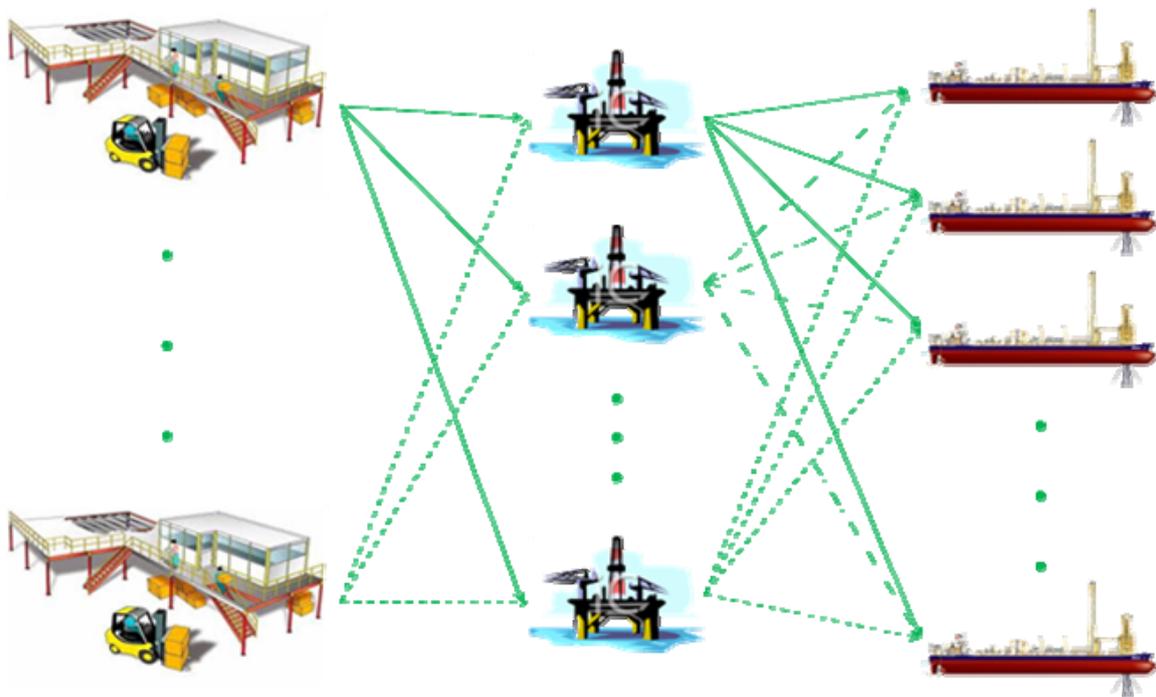


Figura 4.1 - Representação da rede a ser estudada

Além disto, esta demanda varia ao longo do tempo, UPs mais novas em campos no início de sua vida produtiva têm uma demanda completamente diferente de UPs mais antigas em campos já em sua fase madura. O contexto atual de exploração e produção de petróleo nas regiões Sudeste e Sul do Brasil indicam um crescimento ao longo do tempo do número de UPs, bem como de sua dispersão geográfica. Assim o planejamento do abastecimento destas UPs deve lidar não só com o gerenciamento dos estoques de ciclo e de segurança, que dão conta do atendimento da demanda e do tratamento das incertezas a ela associadas, mas também prever a possibilidade da abertura e fechamento de armazéns ao longo do tempo com a consequente definição de onde localizar estes armazéns e de quais UPs atender de cada armazém.

Para descrever a situação descrita previamente, o presente trabalho modela o problema como uma rede de abastecimento de dois elos (2-echelon) onde as UPs são supridas por armazéns e estes supridos por fornecedores. A figura 1 ilustra de forma esquemática a estrutura modelada na ação do tempo.

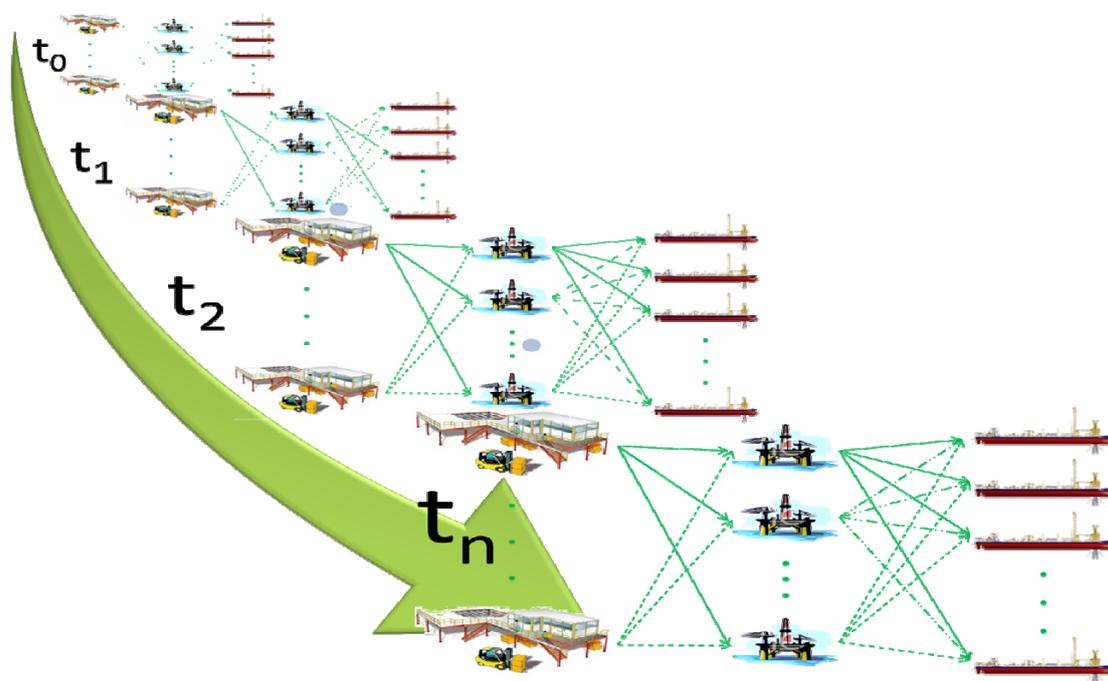


Figura 4.2 - Representação da ação do tempo sobre a rede estudada

4.1. PREMISSAS E HIPÓTESES

Como primeira premissa nesse estudo, foi considerado que o espaço de possíveis localizações é discreto, isto é, os locais onde os armazéns podem ser instalados são conhecidos previamente. Um cenário possível de retratar com esta estrutura são armazéns localizados no mar (em estruturas dedicadas para tanto, ou mesmo em UPs com espaço de armazenagem disponível) e fornecedores localizados em terra agregados em uma única região em terra. Naturalmente vários outros arranjos são passíveis de serem modelados com esta estrutura de dois elos.

O problema de gerenciamento dinâmico da localização de armazéns e alocação de estoques pode então ser esquematicamente definido como se segue.

a) Dados de Entrada

Os dados de entrada são os valores previamente conhecidos que são fornecidos para que o modelo realize o seu processamento. Como dados de entrada a serem inseridos temos:

- conjunto de UPs a serem atendidas em cada instante de tempo;
- possíveis locais para a instalação de armazém;
- demanda de cada UP por cada um dos itens a serem supridos, caracterizados por uma distribuição de probabilidade com os devidos parâmetros (média e variância);
- tempos de entrega (lead-time) do fornecedor para os armazéns e destes para as UPs;
- níveis de serviço a serem observados por cada item.

Os parâmetros de custo também são fornecidos e são previamente conhecidos. Como parâmetros de custo temos:

- custo fixo de manutenção de estoques por unidade para cada armazém (\$/unidade);
- custo de ressuprimento ao dia entre o fornecedor e o armazém (\$/unidade/dia);
- custo de transporte entre armazéns e UPs (\$/unidade);
- custo de colocação de pedidos (\$ /pedido).

b) Informações de saída

As informações de saída são as informações que o modelo é capaz de responder após o processamento dos dados de entrada. Como informações de saída, o modelo deve responder aos seguintes questionamentos:

- Quais serão os armazéns abertos em cada instante de tempo?
- Qual a política de atendimento às UPs a partir de cada armazém aberto?
- Qual o nível de estoques para cada item em cada armazém? Qual o estoque de segurança?
- Qual a quantidade comprada no ressuprimento dos armazéns?

c) Objetivo

Minimizar os custos de manutenção de estoques em cada armazém, o custo de colocação do pedido de ressuprimento, o custo de ressuprimento e os custos de transporte entre armazéns e as UPs.

d) Restrições

As restrições são as condições que o problema impõe para que o objetivo seja alcançado. Como restrições do problema temos:

- toda a demanda deve ser atendida (dentro dos níveis de serviço estabelecido);
- o estoque é formado pelo estoque do período anterior mais a quantidade comprada para ressuprimento;
- o estoque de um período é no mínimo igual que o estoque de segurança;
- o estoque de segurança segue a formulação de Daskin et al.(2002);
- a compra de ressuprimento não pode ser comprada indiscriminadamente.

Premissas e hipóteses são parte das condições nas quais o modelo é fundamentado para descrever o problema. As seguintes premissas e hipóteses foram assumidas na formulação matemática do problema apresentada nas próximas subseções:

- a) Cada fornecedor do armazém tem sua localização fixa e pré-determinada em cada período de tempo;
- b) Cada UP tem sua localização fixa e pré-determinada em cada período de tempo;
- c) As possíveis localizações dos armazéns são pré-determinadas e finitas em cada período de tempo;
- d) O número de armazéns é finito e no máximo igual ao número de possíveis localidades;
- e) Há somente um produto a ser transportado e estocado na rede;
- f) A demanda por materiais e equipamentos em cada UP possui uma distribuição normal, com variância constante ao longo do tempo, isto é a demanda é homocedástica;

- g) As demandas por materiais e equipamentos em cada UP são variáveis aleatórias independentes, com correlação igual a zero em cada período de tempo;
- h) Cada armazém pode atender a mais de uma UP em cada período de tempo;
- i) Os estoques de ciclo e estoques de segurança são considerados apenas nos armazéns;
- j) Não são considerados estoques no fornecedor e nem nas UPs;
- k) São considerados os níveis de serviço requeridos por cada UP em cada período de tempo na forma de um fator de segurança que garante uma determinada probabilidade de não ocorrência de *stockouts*. O fator é o mesmo para todos os armazéns;
- l) É assumido um modelo de gestão de estoques nos armazéns do tipo lote econômico de compra (LEC) e ponto de pedido (PP);
- m) Os custos unitários de ressuprimento são função do tempo de entrega (*lead time*) do fornecedor para cada armazém, sendo medidos em \$/unidade/dia;
- n) Os custos de unitários de transporte entre os armazéns e as UPs dependem das distâncias entre os mesmos. Eles são medidos em \$/unidade.
- o) Não são consideradas variações no *lead time* de ressuprimento

4.2. MODELAGEM MATEMÁTICA

Como representação do problema, o modelo procura descrever o funcionamento do problema com a maior fidelidade possível. Nesse estudo, o problema foi primeiramente abordado como um modelo de programação não-linear inteiro misto (MINLP) que foi posteriormente transformado em um modelo inteiro misto linear (MILP) via o processo de linearização por partes.

4.2.1. MODELO NÃO LINEAR

Baseado na definição e premissa do problema apresentadas na subseção 4.1, é apresentada a formulação matemática do problema de gerenciamento dinâmico da localização de armazéns e alocação de estoques (PGDAE). Seja a seguinte notação:

a) Conjuntos e Índices

n número total de UPs

m número total de armazéns

j índice para UPs

i índice para armazéns

t índice para período

b) Parâmetros de Entrada de Custos

P_i custo unitário de colocação do pedido no armazém i (\$/pedido)

M_i custo de manutenção de estoques por unidade no armazém i (\$/unidade)

T_{ij} custo unitário de transporte na distribuição entre o armazém i e a UP j (\$/unidade)

A custo unitário diário de ressurgimento do fornecedor para o armazém (\$/unidade/dia)

c) Parâmetros de Entrada de Dados Estatísticos

D_{jt} demanda média da UP j no período t

L_i *Lead time* médio de ressuprimento do armazém i

σ_{Dj} desvio-padrão de demanda na UP j

d) Parâmetros de Entrada de Constantes

E_{0i} estoque no armazém i ao final do período zero

G constante usada para restringir o tamanho dos pedidos

z_i fator de segurança que reflete o nível de proteção em relação a *stockouts*

e) Variáveis de Decisão

w_{ijt} Atendimento da demanda da UP j atendida pelo armazém i no período t

y_{it} variável binária igual a 1 em caso de pedido de ressuprimento para o armazém i no período t

E_{it} estoque no armazém i ao final do período t

q_{it} quantidade comprada pelo armazém i como ressuprimento no período t

SS_{it} estoque de segurança no armazém i no período t

f) Modelagem Matemática

O PGDAE pode então ser formulado da seguinte forma:

$$MinCT = \sum_t \sum_i M_i E_{it} + \sum_t \sum_i \sum_j P_i y_{it} + \sum_t \sum_i AL_i q_{it} + \sum_t \sum_i \sum_j T_{ij} D_{jt} w_{ijt} \quad (4.1)$$

Sujeito a

$$\sum_i w_{ijtl} = 1 \quad \forall j, t \quad (4.2)$$

$$E_{it} = E_{it-1} - \sum_j D_{jt} w_{ijt} + q_{it} \quad \forall i, t \quad (4.3)$$

$$E_{it} \geq SS_{it} \quad \forall i, t \quad (4.4)$$

$$SS_{it} = z_i \sqrt{L_i \left[\sum_j (\sigma_{D_j}^2 w_{ijt}) \right]} \quad \forall i, t \quad (4.5)$$

$$q_{it} \leq Gy_{it} \quad \forall i, t \quad (4.6)$$

$$q_{it}, E_{it} \geq 0 \quad \forall i, t \quad (4.7)$$

$$w_{ijt} \in [0, 1] \quad \forall i, j, t \quad (4.8)$$

$$y_{it} \in \{0,1\} \quad \forall i,t \quad (4.9)$$

A função objetivo (4.1) busca minimizar a soma de quatro parcelas, respectivamente relacionadas aos custos de manutenção dos estoques nos armazéns, de pedido das UPs para os armazéns, de ressuprimento dos armazéns e de distribuição dos armazéns para as UPs. As restrições (4.2) asseguram que a totalidade da demanda de cada UP, em cada período de tempo será atendida pelo conjunto de armazéns. As restrições (4.3) garantem o equilíbrio de fluxo em cada armazém em cada período de tempo, isto é o estoque em cada armazém ao fim de cada período de tempo será igual ao estoque no período anterior menos a demanda atendida pelo armazém mais os recebimentos ocorridos em cada período de tempo. As restrições (4.4) impõem que os estoques em cada armazém em cada período de tempo sejam sempre superiores ao estoque de segurança. As equações (4.5), demonstradas em Daskin et al. (2002), calculam, para cada armazém em cada instante de tempo, o estoque de segurança que reflete o nível de proteção desejado em relação a *stockouts*. As restrições (4.6) limitam a quantidade que pode ser adquirida por cada armazém em cada instante de tempo. Por fim as restrições (4.7) a (4.9) definem os domínios das variáveis de decisão.

4.2.2. MODELO COM MÉTODO DE LINEARIZAÇÃO POR PARTES

Para lidar com a não-linearidade do modelo original, é possível segmentar a função de estoque de segurança em r -segmentos, ou seja, linearizando por partes, introduzindo mais variáveis (u'_{it} e v'_{ijt}). (Croxton, Gendron e Magnanti (2007); Croxton, Gendron, e Magnanti (2003); Frangioni e Gendron (2009)). O número de segmentos lineares necessários para aproximar o termo não-linear é definido pelo utilizador, com base no grau de aproximação desejada. Quanto maior o número de segmentos lineares de r , melhor é a aproximação. Como formulação do problema inteiro misto linear (MILP) resultante temos:

a) Conjuntos e Índices

r Índice de partição da reta que aproxima uma curva por uma reta

b) Parâmetros de Entrada de Linearização

N Número total de partições dos segmentos de reta que aproximam a função a ser linearizada

Abcissa do limite superior da partição r associado ao armazém i e período t

ϕ_{it}^r

$$\phi_{it}^r = \left(\frac{r}{N} \sqrt{L_i \sum_j \sigma_j^2} \right)^2$$

Coefficiente Linear para a partição r associado ao armazém i e período t

F_{ijt}^r

$$F_{ijt}^r = \sqrt{\phi_{it}^r} - C_{ijt}^r \phi_{it}^r$$

Coefficiente Angular para a partição r associado ao armazém i e período t

C_{ij}^r

$$C_{ij}^r = \frac{\sqrt{\phi_{it}^{r+1}} - \sqrt{\phi_{it}^r}}{\phi_{it}^{r+1} - \phi_{it}^r}$$

c) Variáveis de Decisão

u_{it}^r Variável que ativa a partição r associada ao armazém i e período t

v_{ijt}^r Variável que realiza varredura na partição r associada ao armazém i , UP j e período t

d) Modelagem Matemática

O PGDAE linearizado por partes pode então ser formulado da seguinte forma:

$$MinCT = \sum_t \sum_i M_i E_{it} + \sum_t \sum_i \sum_j P_i y_{it} + \sum_t \sum_i RL_i q_{it} + \sum_t \sum_i \sum_j T_{ij} D_{jt} w_{ijt} \quad (4.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_i w_{ijt} = 1 \quad \forall j, t \quad (4.2)$$

$$E_{it} = E_{it-1} - \sum_j D_{jt} w_{ijt} + q_{it} \quad \forall i, t \quad (4.3)$$

$$E_{it} \geq SS_{it} \quad \forall i, t \quad (4.4)$$

$$SS_{it} = z_i \sum_r (F_{it}^r u_{it}^r + C_{it}^r v_{ijt}^r) \quad \forall i, t \quad (4.5b)$$

$$q_{it} \leq Gy_{it} \quad \forall i, t \quad (4.6)$$

$$\sum_j L_i \sigma_j^2 w_{ijt} = \sum_r \sum_j v_{ijt}^r \quad \forall i, t \quad (4.10)$$

$$\phi_{it}^{r-1} u_{it}^r \leq \sum_j v_{ijt}^r \leq \phi_{it}^r u_{it}^r \quad \forall i, t, r \quad (4.11)$$

$$\sum_r u_{it}^r \leq 1 \quad \forall i, t \quad (4.12)$$

$$q_{it}, E_{it} \geq 0 \quad \forall i, t \quad (4.7)$$

$$v_{ijt}^r \geq 0 \quad \forall i, t \quad (4.13)$$

$$w_{ijt} \in [0,1] \quad \forall i, j, t \quad (4.8)$$

$$y_{it} \in \{0,1\} \quad \forall i, t \quad (4.9)$$

$$u_{it}^r \in \{0,1\} \quad \forall i, t, r \quad (4.14)$$

As restrições (4.5b) traduzem a linearização da não linearidade existente no estoque de segurança provocada pela função raiz quadrada. Ela indica que o estoque de segurança agora é descrito por um conjunto de segmentos de reta, substituindo a restrição (4.5). Em (4.10), v'_{ijt} estabelece a relação com a variável w_{ijt} . Em (4.11), os segmentos de reta são formados, uma vez que as variáveis v'_{ijt} provocam valores entre as extremidades do segmento de reta. Na restrição (4.12), condiciona que somente pode haver um único segmento de reta associado a cada armazém em um determinado período de tempo. As restrições (4.13) e (4.14) refletem o domínio das variáveis introduzidas.

5. EXPERIMENTAÇÃO

Neste capítulo é apresentado o modelo protótipo com o qual foram gerados os primeiros resultados. Em seguida são informados os dados utilizados nesse estudo, bem como a abordagem utilizada para o processamento dos dados. Por fim, foi realizada a análise de parâmetros do modelo, projetando os resultados esperados para o modelo.

5.1. MODELO PROTÓTIPO E RESULTADOS

Para avaliar a capacidade de softwares comerciais e verificar o funcionamento do modelo apresentado na seção 4 um exemplo protótipo foi construído. Para tanto, considerou-se um sistema no qual duas UPs são atendidas por até quatro armazéns. Os parâmetros de entrada foram inseridos de forma a representar uma situação em que os valores de custo estivessem na mesma ordem de grandeza. O objetivo foi permitir que o resultado fosse conduzido somente pelo modelo, sem se influenciar por algum dado com valores exageradamente diferente dos demais. Os dados inseridos no modelo protótipo são apresentados abaixo:

a) Índices ou Conjuntos

PERÍODO (t)			
0	1	2	3

ARMAZÉM (i)			
1	2	3	4

UP (j)	
1	2

b) Parâmetros de Custo, Capacidade e Estoque

CUSTOS	
R	10
P	15
M	20

CONSTANTES	
E_0	300
G	1500

TRANSPORTE (T_{ij})			
		UP (j)	
		1	2
ARMAZÉM (i)	1	0,00	1,07
	2	1,07	0,00
	3	1,42	0,35
	4	1,07	1,51

c) Parâmetros de Dados Estatísticos

DEMANDA MÉDIA (D_{jt})		
t	J	D_{jt}
0	1	0
0	2	0
1	1	800
1	2	500
2	1	300
2	2	600
3	1	900
3	2	400

DESVIO-PADRÃO DE DEMANDA (σ_{Dj})	
i	σ_{Dj}
1	50
2	100

FATOR DE SEGURANÇA (z_i)	
i	z_i
1	1,65
2	1,65
3	1,65
4	1,65

LEAD-TIME MÉDIO (L_i)	
i	L_i
1	2
2	1
3	1
4	2

Para o modelo linearizado, adicionalmente foram inseridos os seguintes dados:

SEGMENTO(r)											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N = 10

A *Figura 5.1* representa esquematicamente como se configura a rede com a entrada dos dados do modelo protótipo.

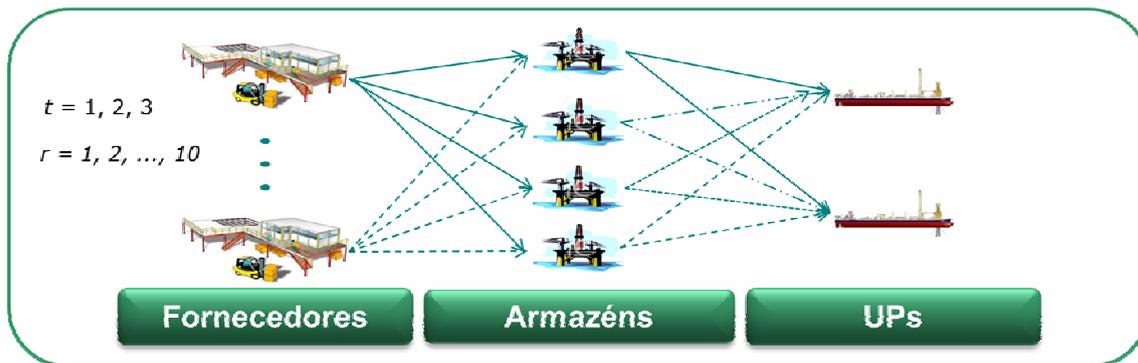


Figura 5.1 - Dados de Entrada do Modelo Protótipo

A máquina utilizada possui as seguintes características: Processador Intel Core 2 Duo de 2,66 GHz, Memória (RAM) de 8 GB e Sistema Operacional Windows Server 2003. (Figura 5.2) Para a realização de cálculos do modelo de Programação Mista Inteira Não Linear (MINLP) foi utilizado o software AIMMS 3.12 (Paragon Decision Technology B. V.). A escolha foi baseada na disponibilidade de utilização de uma biblioteca ampla de rotinas. O AIMMS 3.12 apresenta ainda uma interface gráfica amigável para a montagem dos modelos. A rotina para o MINLP utilizada foi o BARON (Branch-And-ReduceOptimization Navigator), um solver de otimização global (OG) – sistema computacional para resolver problemas de otimização não convexas para ótimos globais. Problemas puramente contínuos, puramente inteiros, inteiros mistos e não lineares podem ser resolvidos por este solver, que é considerado na literatura no estado da arte em otimização global.

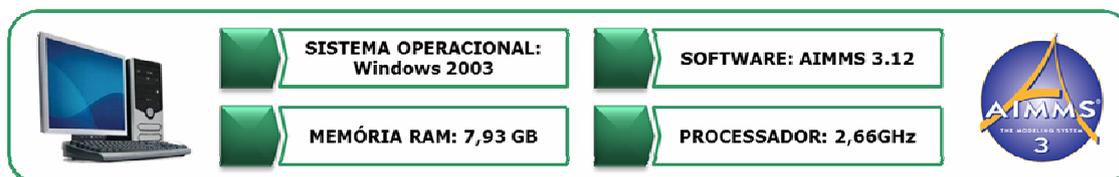


Figura 5.2-Dados de Implementação do Modelo

Para ilustrar a dificuldade do problema tratado, o solver BARON, mesmo neste pequeno exemplo protótipo, executado por um tempo de 11700 segundos (mais de

3 horas), não conseguiu encontrar uma solução que possa ser comprovadamente ótimo global, neste caso a melhor solução encontrada pode ser caracterizada como um ótimo local.

O modelo MINLP convergiu para um valor de 68.073,71 para a FO, porém não foi finalizado. Até o momento da parada da execução a solução não havia sido alterada. (Figura 5.3)

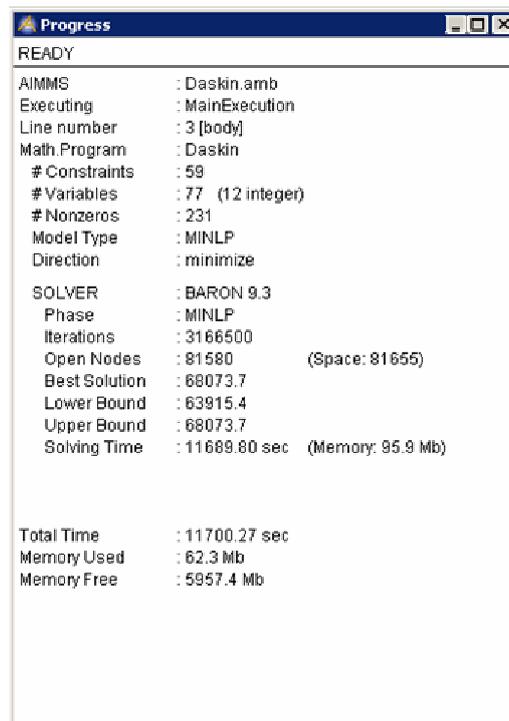


Figura 5.3 - Tela de Processamento do Modelo MINLP

Como resposta do modelo, a rede de suprimentos se manteve inalterada durante os três períodos. (Figura 5.4)

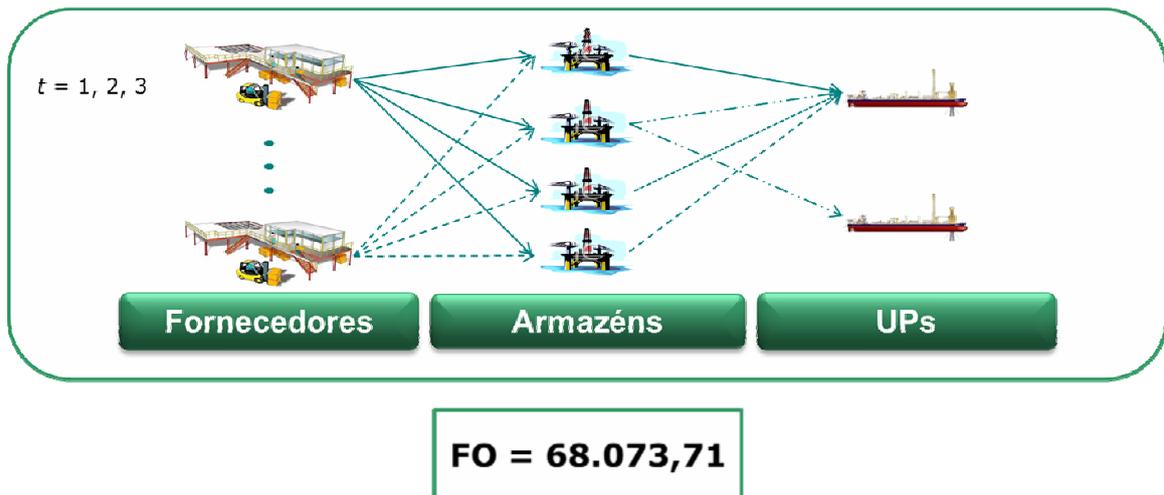


Figura 5.4 - Configuração das Redes de Operações do Modelo MINLP

Já o modelo MILP teve seu processamento concluído em menos de 7 segundos. O valor encontrado foi de 65.905,92. (Figura 5.4)

Progress	
READY	
AIMMS	: Daskin_Linear.amb
Executing	: MainExecution
Line number	: 3 [body]
Math.Program	: Daskin_Linear
# Constraints	: 455
# Variables	: 605 (188 integer)
# Nonzeros	: 2315
Model Type	: MIP
Direction	: minimize
SOLVER	: CPLEX 12.1
Phase	: Postsolving
Iterations	: 56702
Nodes	: 6944 (Left: 44)
Best LP Bound	: 65905.92333 (Gap: 0.00%)
Best Solution	: 65905.92333 (Post: 65905.92333)
Solving Time	: 2.69 sec (Peak Mem: 6.2 Mb)
Program Status	: Optimal
Solver Status	: Normal completion
Total Time	: 6.92 sec
Memory Used	: 64.7 Mb
Memory Free	: 3987.5 Mb

Figura 5.5 - Tela de processamento do Modelo MILP

Já como resposta do modelo, a rede de suprimentos apresentou uma configuração que foi modificada a partir do segundo período e se manteve inalterada. Abaixo a *Figura 5.6*.

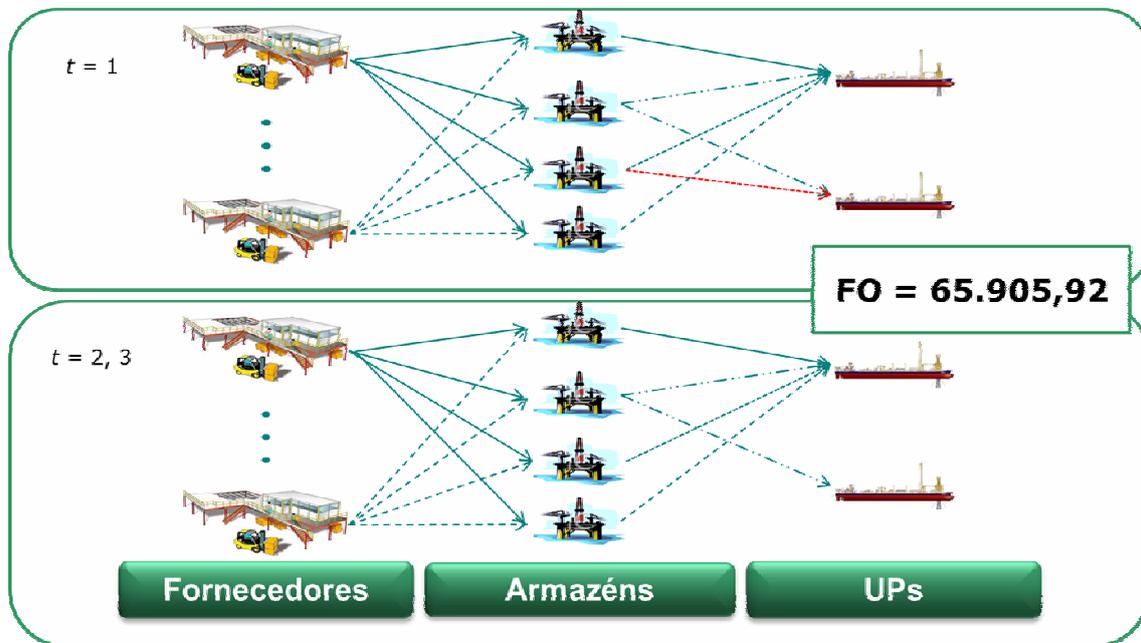


Figura 5.6 - Configuração das Redes de Operações do Modelo MILP

Abaixo é apresentado um quadro comparativo entre os resultados apresentados nos modelos MINLP e MILP. O valor apresentado na Funções Objetivo (FO) do modelo MILP fornece um erro de aproximadamente 3% em relação ao valor encontrado pelo MINLP, conforme *Tabela 5.1*.

	MINLP	MILP	ϵ
FO	68.073,71	65.905,92	3,18%

Tabela 5.1- Comparação entre Funções Objetivo dos modelos MINLP e MILP

Na *Tabela 5.2* são apresentadas as médias de cada armazém i no período t para as duas abordagens de resolução.

	t=1		t=2		t=3	
	MINLP	MILP	MINLP	MILP	MINLP	MILP
i=1	0,100	0,150	0,110	0,010	0,020	0,001
i=2	0,120	0,534	0,060	0,954	0,055	0,999
i=3	0,690	0,164	0,720	0,015	0,900	0,000
i=4	0,090	0,151	0,110	0,015	0,030	0,001

Tabela 5.2 - Média de atendimento da Demanda

Os valores destacados em amarelo mostram resultados que superaram os 50% de atendimento de UPs.

Para maior detalhamento dos resultados do modelo protótipo MINLP e MILP estão em ANEXO 1 e ANEXO 2 respectivamente.

5.2. SEGMENTAÇÃO DO MODELO PROTÓTIPO NÃO-LINEAR

De forma a averiguar a otimização do modelo protótipo para o modelo não-linear, foi efetuada uma segmentação do problema. Com o intuito de se reduzir a carga de processamento de dados do modelo, a variável fracionária foi fixada. Para cada combinação de atendimento de armazém a uma UP, foi gerado um novo problema. Ao todo, combinando-se quatro localidades de armazém com duas UPs foram gerados oito novos problemas.

O problema não-linear inteiro misto (MINLP) foi convertido em um grupo de problemas não-lineares (MINLP) menores com predefinição de abertura de um dos armazéns em uma das localidades preestabelecidas. Os resultados de FO e de tempo de processamento podem ser observados na tabela a seguir:

EXPERIMENTO	CONDIÇÃO	FO	TEMPO (min:seg)
1	$w(1,1,t) = 1$	\$ 94.622,17	06:45
2	$w(1,2,t) = 1$	\$ 90.737,75	16:35
3	$w(2,1,t) = 1$	\$ 76.346,11	09:09
4	$w(2,2,t) = 1$	\$ 68.073,71	45:47
5	$w(3,1,t) = 1$	\$ 77.214,48	24:32
6	$w(3,2,t) = 1$	\$ 68.897,46	36:60
7	$w(4,1,t) = 1$	\$ 96.653,58	26:02
8	$w(4,2,t) = 1$	\$ 91.094,76	07:38

Tabela 5.3 - Quadro de Resultados dos Problemas Derivados

É possível observar que os resultados ótimos gerados estão de acordo com o resultado parcial do problema original. Os valores ótimos encontrados nos problemas derivados são maiores ou iguais, confirmando a suspeita anterior de geração de um ótimo global. Inclusive, no Experimento 4 foi encontrado o mesmo valor. Da mesma forma, a análise acima pode ser estendida ao problema linear (MILP). Todos os valores estão acima do valor encontrado a partir da linearização por partes, o que era esperado.

5.3. DADOS

De forma a efetuar experimentos para a modelagem desenvolvida foram construídas instâncias a partir de um estudo aplicado a uma situação real do setor de óleo e gás na qual foram coletadas informações de 546 clientes, 4 possíveis localidades para armazéns e aproximadamente 20.000 produtos a serem armazenados.

A partir dos dados mencionados, foram filtrados somente os dados que eram aplicados a casos de campos marítimos. Dessa forma, os dados que realmente traduziam as condições estudadas foram de 27 localidades para UPs, 749 fornecedores e 435 itens. Como esse estudo procurou simplificar a modelagem para um único item, utilizou-se valores médios referentes ao conjunto de itens. Também se utilizou o valor médio para os parâmetros M_i e R dos armazéns.

Os valores coletados de Demanda média da UPs (D_{jt}), desvio padrão da demanda (σD_j), custos unitários de transporte (T_{ij}) e *lead time* médio de ressurgimento do armazém (L_i) contaram com ferramentas de geração de números aleatórios. Cada um dos parâmetros possuía variedade reduzida de dados, por isso foram aproximados por uma distribuição triangular a partir de valores de média, valores máximos e valores mínimos.

Foram geradas 30 instâncias. Para comparar os efeitos da linearização por partes, bem como a partição utilizada, cada instância foi rodada para 4 tipos de programas diferentes. Os programas juntos foram rodados num total de 120 vezes por no mínimo 300 segundos. Os quatro programas consideravam as seguintes condições:

- a) Problema não-linear (MINLP)
- b) Problema Linearizado por partes com $r = 10$ (MILP R1)
- c) Problema Linearizado por partes com $r = 20$ (MILP R2)
- d) Problema Linearizado por partes com $r = 100$ (MILP R3)

A seguir são listadas as principais informações que constituem as instâncias. A partir do problema original foram feitos dois conjuntos de experimento: CONJUNTO I e CONJUNTO II segundo características na quais se desejava avaliar.

a) PROBLEMA ORIGINAL

O problema original envolve cinco possibilidades de localização dos armazéns e dez UPs. A partir dele foram derivadas as demais instâncias.

I-01: cincolocalidades para armazéns e dez UPs

b) CONJUNTO I – VARIAÇÕES DE PARÂMETROS

Variando-se os parâmetros de entrada apresentados em I-01, foram formuladas as instâncias que compõem o Conjunto I:

I-02: para todo de T_{ij} , dobro do valor;

I-03: para todo de T_{ij} , metade do valor;

I-04: para todo M_i , dobro do valor;

I-05: para todo M_i , metade do valor;

I-06: dobro do valor de R;

I-07: metade do valor de R;

I-08: para todo P_i , dobro do valor;

I-09: para todo P_i , metade do valor;

I-10: para todo D_{jt} , dobro do valor;

I-11: para todo D_{jt} , metade do valor;

I-12: para todo L_i , dobro do valor;

I-13: para todo L_i , metade do valor;

I-14: para todo σ_{Dj} , dobro do valor;

I-15: para todo σ_{Dj} , metade do valor;

I-16: para todo E_{0i} , dobro do valor;

I-17: para todo E_{0i} , dobro do valor;

I-18: dobro do valor de G;

I-19: metade do valor de G;

I-20: para todo z_i , dobro do valor;

I-21: para todo z_i , metade do valor.

c) CONJUNTO II – VARIAÇÕES DE QUANTIDADE DO SISTEMA ARMAZÉM-UP

Nesse conjunto, foram modificados os elementos de quantidade disponível de localidades de armazéns e de UPs. Segue abaixo, a lista de instâncias:

I-22: dez localidades para armazéns e dez UPs;

I-23: cinco localidades para armazéns e vinte UPs;

I-24: dez localidades para armazéns e vinte UPs;

I-25: vinte localidades para armazéns e vinte UPs;

I-26: cinco localidades para armazéns e cinquenta UPs;

I-27: dez localidades para armazéns e cinquenta UPs;

I-28: vinte localidades para armazéns e cinquenta UPs;

I-29: quarenta localidades para armazéns e cinquenta UPs;

I-30: cinquenta localidades para armazéns e cinquenta UPs.

5.4. ANÁLISE DE PARÂMETROS

O modelo proposto buscou reproduzir as premissas consideradas na descrição do problema. Por meio das premissas, alguns resultados tornam-se esperados e orientam o modelo numa tentativa de reproduzir as respostas de um problema real. Dessa forma, mediante alterações significativas nos parâmetros de entrada, o modelo proposto produz diferentes configurações para o problema. Entre os parâmetros com os quais se espera que o modelo responda temos:

a) Custo unitário de colocação do pedido no armazém i (P_i)

Um aumento de P_i inibe o número de compras y_{it} de novas unidades do produto. Em consequência, cada compra passa a ser feita em maior quantidade q_{it} . Por fim, os estoques dos armazéns crescem E_{it} . Uma redução de (P_i) aumenta o número de compras y_{it} , reduz a quantidade por compra q_{it} e diminui os estoques E_{it} .

b) Custo de manutenção de estoques por unidade de tempo no armazém i (M_i)

Um incremento em M_i passa a restringir a quantidade de produtos em estoque E_{it} . Os armazéns passam a reduzir seus estoques e realizar maior número de compras y_{it} e em pequena quantidade q_{it} . Se há redução em M_i , há menor número de compras y_{it} e em maior quantidade q_{it} .

c) Custo unitário de transporte na distribuição entre o armazém i e a UP j (T_{ij})

Um aumento de T_{ij} inibe os transportes realizados entre i e j . Isso significa que w_{ijt} tende a ocorrer com pouca frequência, porém com valores maiores. Uma diminuição de T_{ij} estimula os transportes, w_{ijt} tende a ocorrer com mais frequência, porém com valores pequenos.

d) Custo unitário diário de ressurgimento do fornecedor para o armazém (R)

Uma variação de R implica na frequência dos ressuprimentos que é destinada aos armazéns para suprir às UPs. Assim se R cresce, w_{ijt} é inibido. Como a quantidade do ressuprimento é designada pelo produto $w_{ijt}D_{jt}$, pode haver redução da quantidade transportada do fornecedor ao armazém. Se a quantidade transportada diminui, a frequência de compras de ressuprimento (isto é quando y_{it} assume valores diferentes de 0) tende a crescer pois os estoques passarão a ser esgotados ao máximo. Se, porém, R diminui, w_{ijt} é estimulado. Pode haver aumento da quantidade transportada q_{it} do fornecedor ao armazém. Se a quantidade transportada aumenta, a quantidade de compras y_{it} tende a reduzir.

e) Demanda média na UP j no período t (D_{jt})

Quanto mais concentrados os valores D_{jt} entre as UPs, maior a concentração dos estoques E_{it} em poucos armazéns. Isso faz com que a ocorrência de w_{ijt} seja menor e em maiores valores. Quanto maior a distribuição dos valores D_{jt} entre as UPs, maior a desconcentração dos estoques, gerando maior ocorrência de w_{ijt} e em menores valores. Uma redução da demanda D_{jt} ao longo do tempo inibe a formação de estoques E_{it} e a quantidade de compras y_{it} . Já um crescimento da demanda D_{jt} no tempo estimula a formação E_{it} e a quantidade de compras y_{it} .

f) *Lead time* médio de ressuprimento do armazém i (L_i)

Uma variação de *lead time* L_i implica na frequência da quantidade que é destinada aos armazéns para suprir às UPs. Isso significa que $w_{ijt} D_{jt}$ (percentual da Demanda que um armazém abastece uma UP) tende a ocorrer com pouca frequência, porém com valores maiores. Uma diminuição de L_i permite flexibilidade nos ressuprimentos, $w_{ijt} D_{jt}$ tende a ocorrer com mais frequência, porém com valores pequenos. (Ou seja, a variável w_{ijt} canaliza os impactos citados em ambos os casos) As variações de L_i também interferem no estoque de segurança SS_{it} . Assim, o aumento do *lead time* aumenta o estoque dos armazéns E_{it} . Para suprir o aumento de E_{it} , são necessárias compras maiores q_{it} para os armazéns. Se ao invés de aumentar, a alteração

reduz L_i , os estoques E_{it} são menores. Em função dessa queda em E_{it} , compras menores q_{it} são efetuadas.

g) Desvio-padrão de demanda na UP j (σ_{Dj})

As variações no desvio-padrão de demanda σ_{Dj} interferem no estoque de segurança SS_{it} . Assim, o aumento do desvio-padrão de demanda aumenta o estoque dos armazéns E_{it} . Para suprir o aumento de E_{it} , são necessárias compras maiores q_{it} para os armazéns. Se ao invés de aumentar, a alteração reduz σ_{Dj} , os estoques E_{it} são menores. Em função dessa queda em E_{it} , compras menores q_{it} são efetuadas.

h) Estoque no armazém i ao final do período zero (E_{0i})

Um incremento do estoque inicial E_{0i} aumenta o estoque dos armazéns E_{it} . Em decorrência disso, são necessárias menos compras y_{it} para os armazéns para atender às demandas nas UPs. Tampouco são estimuladas compras maiores para q_{it} . Por outro lado uma redução de E_{0i} diminui o estoque dos armazéns E_{it} e tornam-se necessárias mais compras y_{it} para os armazéns. Nesse caso, são estimuladas compras menores para q_{it} .

i) Constante usada para restringir o tamanho dos pedidos (G)

Um aumento na constante G permite ao modelo comprar em mais quantidade q_{it} e em menos vezes y_{it} . Como efeito dessa ação, o sistema aumenta os estoques E_{it} . Já uma redução de G , estimula compras em mais quantidade q_{it} e em mais vezes y_{it} .

j) Fator de segurança que reflete o nível de proteção em relação a *stockouts* (z_i)

As variações no fator de segurança k_i interferem no estoque de segurança SS_{it} . Assim, o aumento de z_i aumenta o estoque dos armazéns E_{it} . Para suprir o aumento de E_{it} , são necessárias compras maiores q_{it} para os armazéns. Se ao invés de aumentar, a

alteração reduz az_i , os estoques E_{it} são menores. Em função dessa queda em E_{it} , compras menores q_{it} são efetuadas.

5.5. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir dos experimentos. Primeiramente, são apresentados valores para a Função Objetivo. Em seguida apresentam-se valores de tempo de processamento, abertura de armazém e quantidade de compras. Nos anexos é possível verificar resultados para Quantidade Comprada Total, Estoque Total e Estoque de Segurança Total.

Ao longo do processamento das instâncias verificou-se que nem todos os programas foram capazes de atingir um resultado ótimo, mesmo em se tratando de um programa MILP. Portanto, os resultados das FOs desses programas não garantem um ótimo global e por isso podem destoar dos demais resultados da instância. Há também resultados que sequer encontraram uma solução e permaneceram sem resposta (SR).

	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO I	I-01	13.685,04	13.681,33	13.677,47	13.675,02
	I-02	SR	18.191,25	18.186,37	18.182,33
	I-03	10.595,72	10.592,49	10.589,18	10.586,38
	I-04	13.781,95	13.774,86	13.769,94	13.767,36
	I-05	SR	13.634,57	13.631,19	13.628,85
	I-06	21.389,07	21.383,42	21.377,72	21.373,80
	I-07	9.833,02	9.830,29	9.827,35	13.866,24
	I-08	SR	13.872,55	13.868,69	13.866,24
	I-09	SR	13.585,72	13.581,86	13.579,41
	I-10	27.628,96	27.626,26	27.526,74	27.619,83
	I-11	6.714,39	6.711,92	6.611,87	6.703,78
	I-12	21.397,84	21.394,88	21.384,26	9.825,15
	I-13	9.829,80	9.829,51	9.826,69	9.825,15
	I-14	13.699,90	13.696,70	13.686,59	13680,06
	I-15	13.678,00	13.677,74	13.675,14	13673,54
	I-16	13.221,23	13.219,64	13.215,19	13211,22
	I-17	13.916,64	13.916,06	13.910,97	13907,68
	I-18	13.685,04	13.684,06	13.678,96	13675,60
	I-19	13.685,04	13.684,06	13.678,96	13675,60
	I-20	13.691,06	13.689,27	13.682,12	13677,41
	I-21	13.681,84	13.681,23	13.677,19	13674,78
CONJUNTO II	I-22	11.900,50	11.910,33	11.901,26	11.959,50
	I-23	31.728,79	31.730,64	31.724,46	31.721,53
	I-24	29.934,54	29.943,84	29.934,86	29.944,88
	I-25	28.867,99	28.896,11	28.873,74	29.813,72
	I-26	197.474,14	197.461,34	197.430,60	211.164,87
	I-27	70.049,80	70.061,33	70.050,37	SR
	I-28	87.240,87	86.798,70	87.105,54	SR
	I-29	66.913,56	87.105,54	67.018,30	SR
	I-30	65.895,52	66.090,51	68.009,39	SR

Tabela 5.4 – Resultados para FO

Os resultados de processamento de problema são apresentados conforme a *Tabela 5.5*. Ao todo foram mais de 12h30 de processamento, contados os tempos de processamento dos quatro programas juntos.

	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO I	I-01	600,00	2,72	8,88	127,14
	I-02	769,00	3,64	7,66	61,97
	I-03	826,92	5,23	6,47	58,66
	I-04	605,59	3,79	6,89	329,50
	I-05	622,23	6,47	4,97	350,67
	I-06	600,00	4,00	11,30	413,88
	I-07	702,20	3,13	33,89	327,22
	I-08	906,47	3,67	6,25	407,95
	I-09	603,02	3,95	4,95	261,16
	I-10	664,72	2,97	4,58	128,20
	I-11	1710,73	7,34	14,45	662,34
	I-12	634,78	5,59	16,50	215,74
	I-13	611,25	7,25	7,39	192,73
	I-14	609,50	8,55	12,98	981,06
	I-15	642,86	34,56	15,61	308,31
	I-16	742,17	7,38	126,34	1618,80
	I-17	704,08	5,89	9,02	774,45
	I-18	604,61	9,09	149,550	613,39
	I-19	796,02	8,03	12,66	868,03
	CONJUNTO II	I-20	899,19	135,09	27,00
I-21		604,16	236,36	15,28	177,58
I-22		616,63	1272,89	678,31	694,33
I-23		628,63	9,42	7,67	69,06
I-24		663,01	310,58	304,83	483,58
I-25		731,81	311,58	731,11	600,01
I-26		640,70	61,89	91,39	706,89
I-27		638,95	364,91	725,83	604,13
I-28		600,61	434,88	309,52	1171,25
I-29		373,98	310,95	601,89	682,80
I-30		573,92	395,55	829,84	2195,08

Tabela 5.5 - Resultados para o Tempo de Processamento

O número de armazéns abertos para o CONJUNTO I foi mantido igual para todos os experimentos. Foram abertos todos os 5 armazéns possíveis nos três períodos. Entretanto houve uma pequena variação para os resultados do CONJUNTO II, conforme *Tabela 5.6*.

	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO II	I-22	30	30	30	30
	I-23	15	15	15	15
	I-24	30	30	30	30
	I-25	60	60	60	60
	I-26	15	15	15	15
	I-27	30	30	30	SR
	I-28	60	60	60	SR
	I-29	119	119	120	SR
	I-30	150	150	150	SR

Tabela 5.6 - Número Total de Armazéns Abertos

O número de compras também foi mantido igual para todos os experimentos do CONJUNTO I. Foram realizadas apenas 3 compras. Entretanto, a exemplo da abertura de armazéns, houve uma pequena variação para os resultados do CONJUNTO II, conforme *Tabela 5.7*.

	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO II	I-22	6	6	6	6
	I-23	3	3	3	3
	I-24	6	6	6	6
	I-25	6	6	6	6
	I-26	6	6	6	9
	I-27	6	6	6	SR
	I-28	37	31	33	SR
	I-29	6	33	6	SR
	I-30	6	6	6	SR

Tabela 5.7 - Número de Compras Efetuadas

6. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados obtidos indicam o comportamento do modelo a partir dos dados de entrada. Este capítulo procurou detalhar os resultados apresentados no *Capítulo 5* avaliando os efeitos da variação dos parâmetros de entrada, os efeitos da variação de configuração da cadeia de suprimentos e as políticas de alocação de armazéns ao longo do tempo. Também foram comparados os resultados dos modelos MILP em relação ao modelo *MINLP*.

Para analisar o comportamento dos custos, foram verificados os percentuais da FO que um custo assume. A partir da distribuição percentual de custos na FO, o modelo pode ser melhor analisado e sua estratégia de resolução mais facilmente visualizada. Inicialmente a instância *I-01* foi usada como referência e os valores correspondem à média dos modelos implementados.

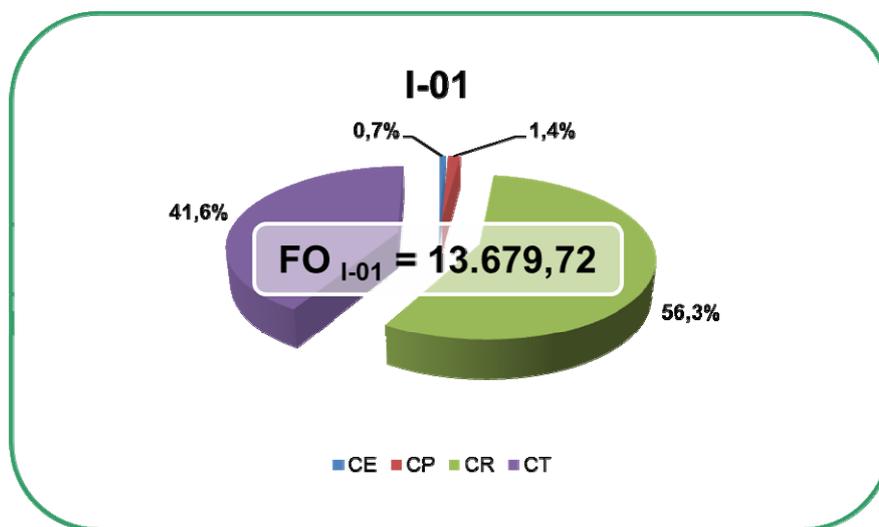


Gráfico 6.1 – Distribuição Percentual Média de Custos de I-01

Os custos de ressuprimento e de transporte correspondem por mais de 90% dos custos do modelo. A seguir foram feitas análises comparativas a essa configuração dos custos.

6.1. EFEITO DOS PARÂMETROS DE ENTRADA

Conforme apresentado no capítulo 5, na seção da análise de parâmetros de entrada, essa seção tem o objetivo de analisar os resultados do modelo a partir da variação dos parâmetros de entrada. Avaliando as instâncias criadas para o *CONJUNTO I*, foram observados alguns impactos relevantes para os resultados dos modelos.

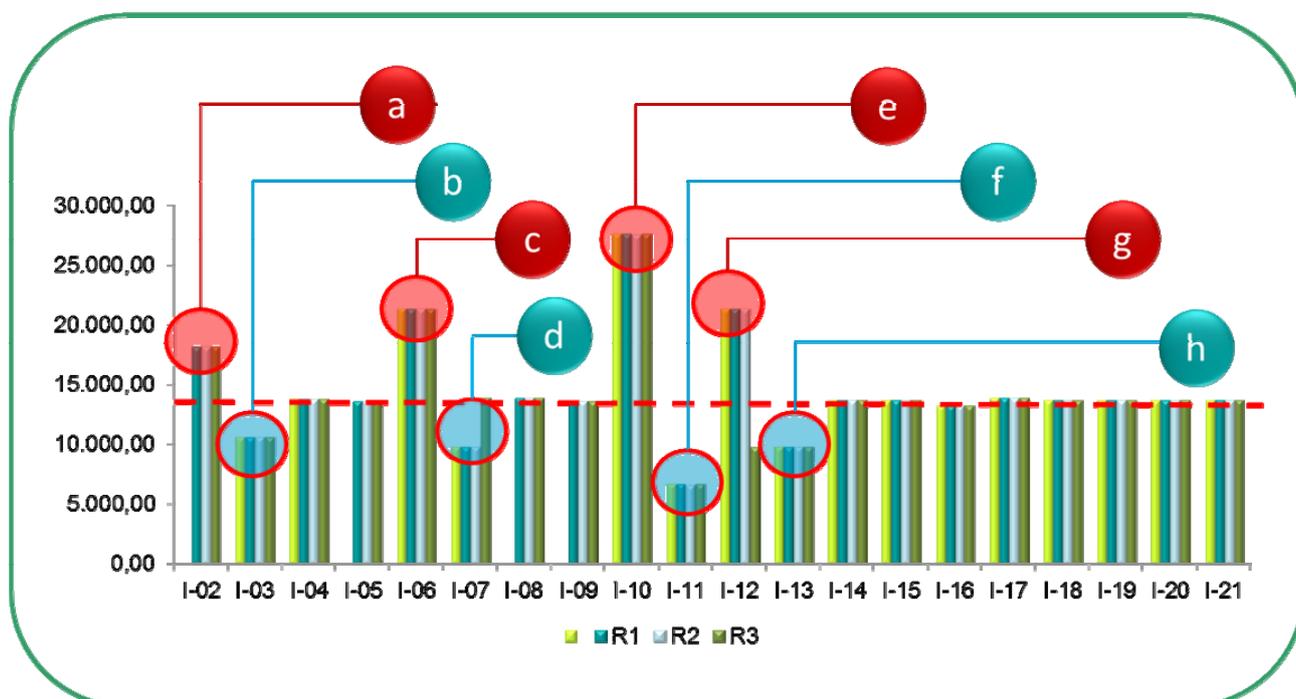


Gráfico 6.2 – Comparativo de FO para o CONJUNTO I

A linha pontilhada vermelha indica o nível de referência atingido por *I-01*. Os balões indicados por números se referem a instâncias que acusaram mudanças relevantes para os custos totais. Os balões vermelhos acusam aumento considerável do custo total, enquanto os balões verdes mostram que houve queda acentuada dos custos.

Alguns resultados do Gráfico 6.2 merecem detalhamento maior acerca dos impactos na FO do modelo. Foram nomeados de *a* a *h* aqueles valores que tiveram maior relevância. Ema e *b*, observa-se que o impacto é causado pela variação no custo

unitário de transporte entre as localidades. Em *I-02* e *I-03* é possível verificar que a distribuição percentual do custo de transporte tem impacto direto devido a alteração desse parâmetro de entrada.

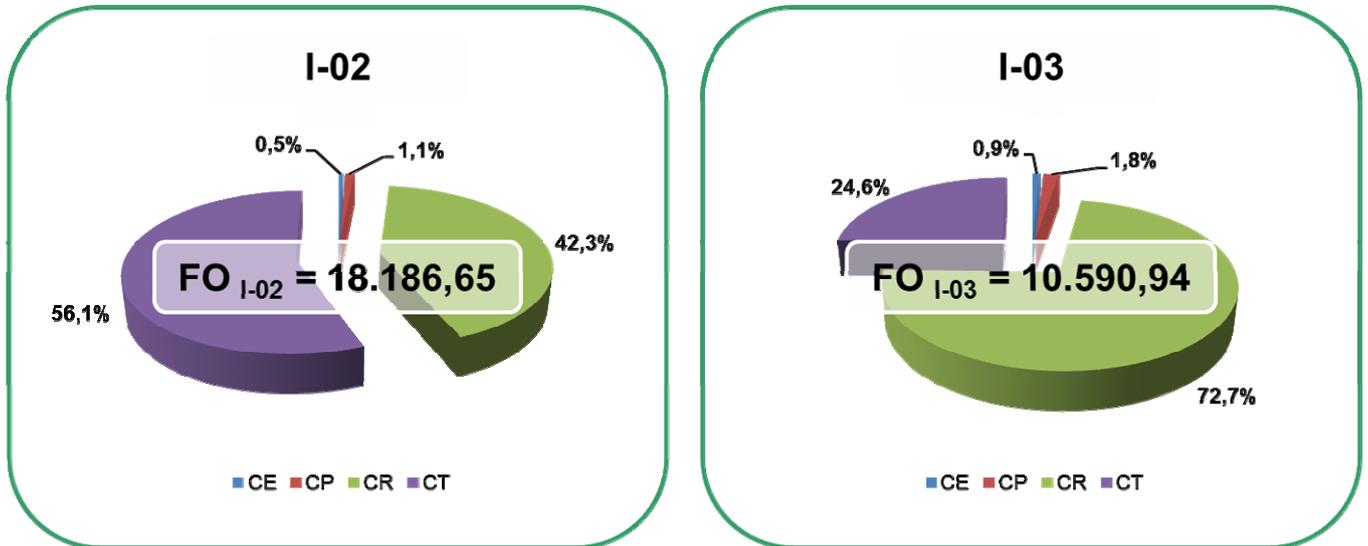


Gráfico 6.3 - Comparativo do Efeito do Custo de Transporte

Emc e das variações foram causadas pela variação do parâmetro de custo unitário de ressuprimento. O modelo demonstrou ser diretamente afetado quando esse parâmetro é alterado. O custo de ressuprimento é a principal cauda do aumento da FO.

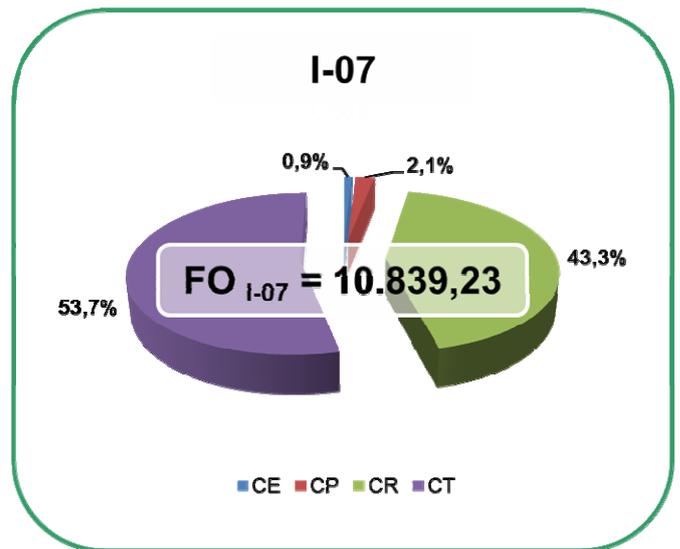
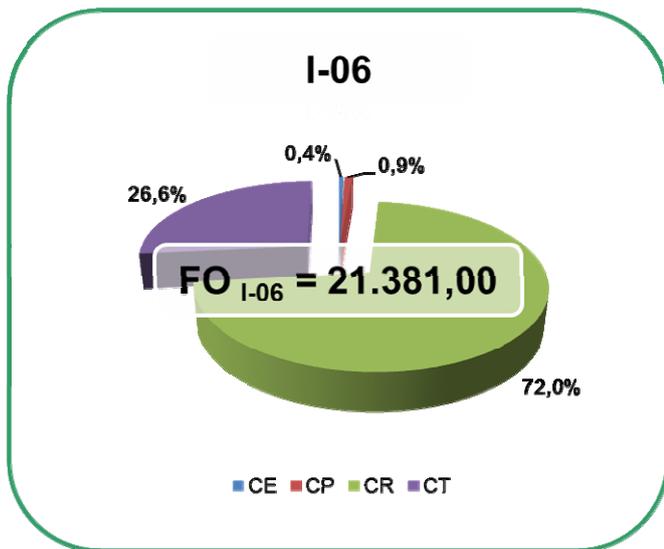


Gráfico 6.4 - Comparativo do Efeito do Custo de Ressuprimento

As variações na Demanda são representadas por *e* e *f*. Juntas geraram as maiores alterações de resultado no modelo, mostrando-se ser mais sensível a esse parâmetro de entrada. Houve crescimento de todos os custos, porém é visível um impacto mais direto nos *CE* e *CP*.

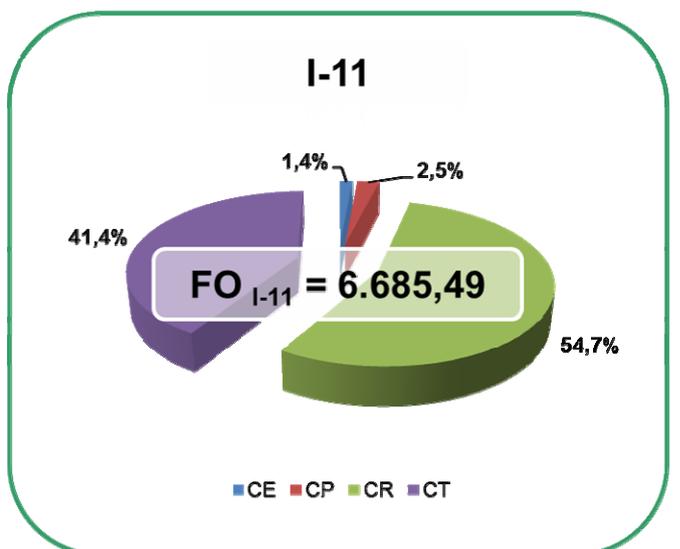
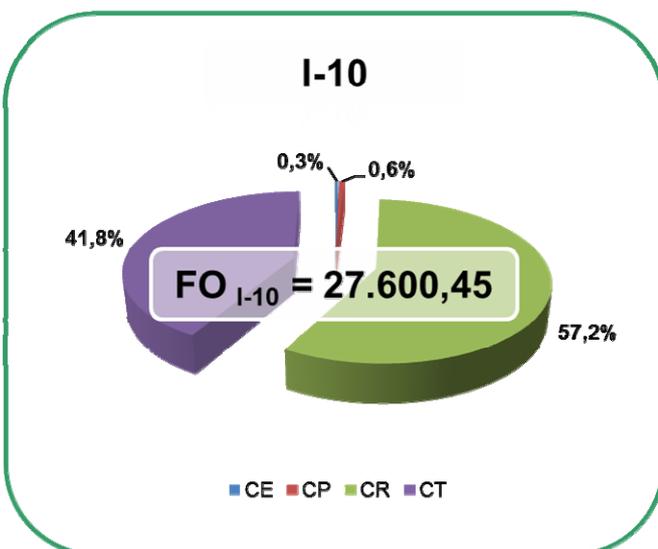


Gráfico 6.5 - Comparativo do Efeito da Demanda

As variações de *lead time* foram descritas por *g* e *h*. O tempo de entrega dos produtos nos armazéns influi diretamente nos custos de ressuprimento. O modelo mostrou ter grande sensibilidade a esse parâmetro.

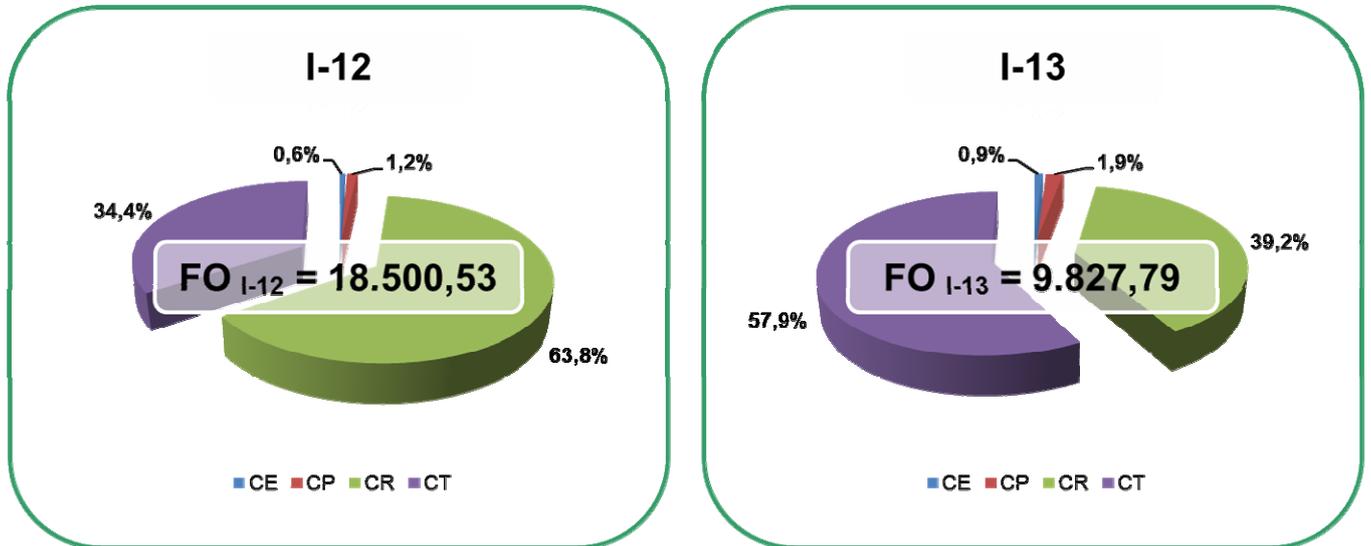


Gráfico 6.6 - Comparativo do Efeito de Lead Time

6.2. EFEITO DA CONFIGURAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Esta seção tem o objetivo de avaliar os efeitos que a variação nas quantidades de elementos da cadeia de suprimentos efetua sobre o modelo. Tanto a quantidade de armazéns abertos como a quantidade de UPs exercem pressão sobre o fluxo de produtos do modelo. As instâncias que inserem esse tipo de variação no sistema são as instancias pertencentes ao *CONJUNTO II*.

Avaliando as instâncias criadas para o *CONJUNTO II*, foram observados impactos relevantes para os resultados dos modelos a partir de *I-26*. Na realidade, de *I-26* à *I-30* são usadas instâncias com 50 UPs, o que onera a carga da FO nos modelos.

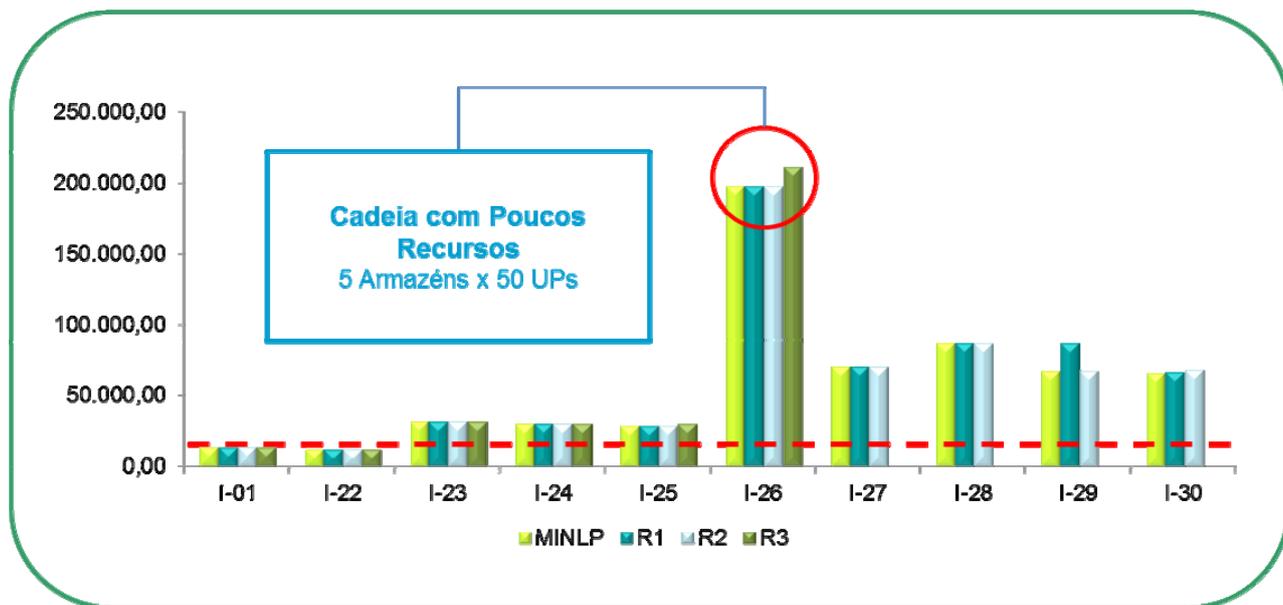


Gráfico 6.7–Comparativo de FO do CONJUNTO II

A linha pontilhada vermelha indica o nível de referência atingido por I-01. É possível observar que a partir de I-26 os valores dos custos crescem. Devido ao aumento da quantidade de clientes, os custos totais, os volumes de compras e de transferências de produtos aumentam. Esse impacto é tão grande em I-26 que os custos chegam a mais de 14 vezes. Nessa instância especificamente há um aumento de 10 vezes da quantidade de clientes em relação ao problema original. Esse aumento causa uma escassez dos recursos que provoca um aumento dos custos para atender à demanda. Para analisar o comportamento do percentual da FO de I-26, utilizou-se da distribuição percentual média de custos.

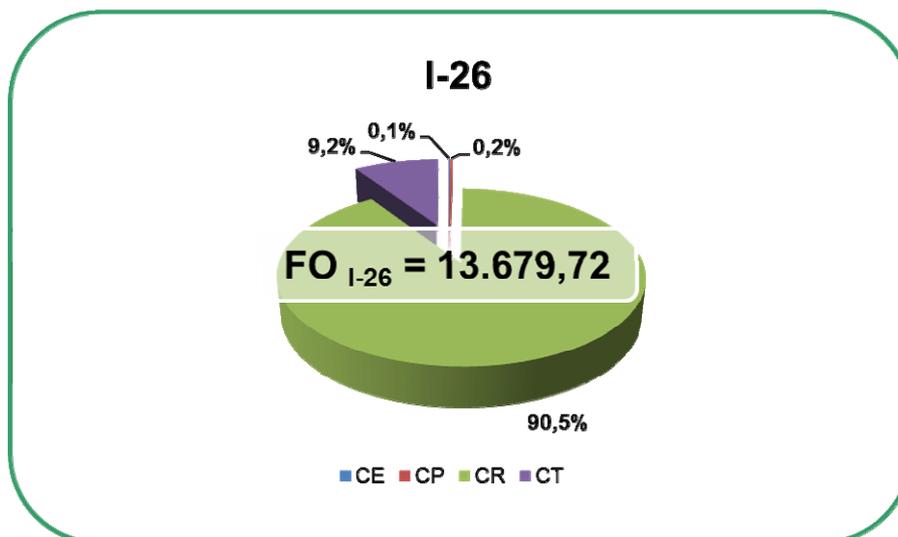


Gráfico 6.8–Distribuição Percentual de Custos Média de I-26

Observando a distribuição percentual dos custos de *I-26* observamos que a maior parte do custo é devido ao custo de ressuprimento. Portanto, a ausência de capacidade dos armazéns em atender demanda força a compra em massa de produtos.

6.3. DISCUSSÃO DE POLÍTICAS DE ALOCAÇÃO NO TEMPO

Em termos de políticas de alocação no tempo pouco pôde ser observado a partir das instâncias utilizadas. Tanto aquelas do *CONJUNTO I* como as do *CONJUNTO II* não foram capazes de perturbar a escolha dos armazéns e a alocação dos clientes. Assim, os modelos quase sempre optaram por abrir o máximo de armazéns em todos os períodos. Essa resposta do modelo significa que os parâmetros de entrada configuram uma situação na qual não há folga no atendimento às UPs.

Adicionalmente, observou-se que houve períodos no qual o modelo centralizou algumas demandas em apenas um único armazém, enquanto em outro distribuiu o atendimento entre vários armazéns. Como na instância *I-01*, a estratégia de atendimento pode variar ao longo dos períodos. As *Figuras 6.1, 6.2 e 6.3* ilustram essa situação:

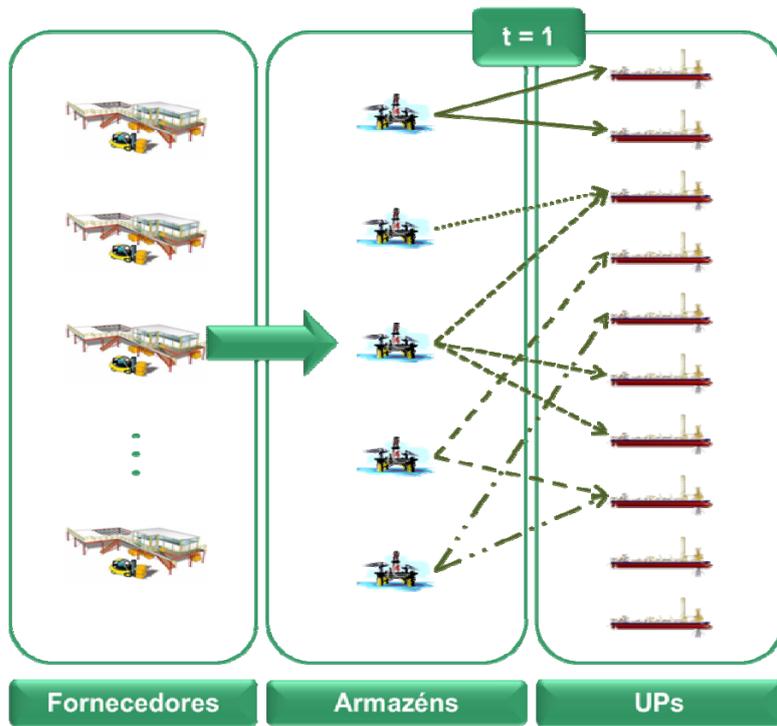


Figura 6.1 - Alocação de Armazéns para $t = 1$

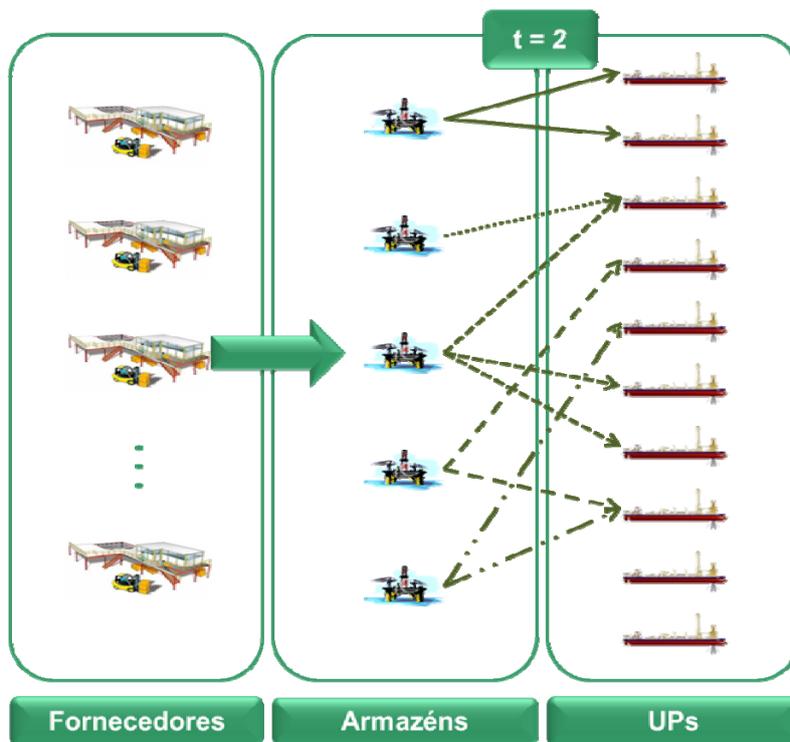


Figura 6.2 - Alocação de Armazéns para $t = 2$

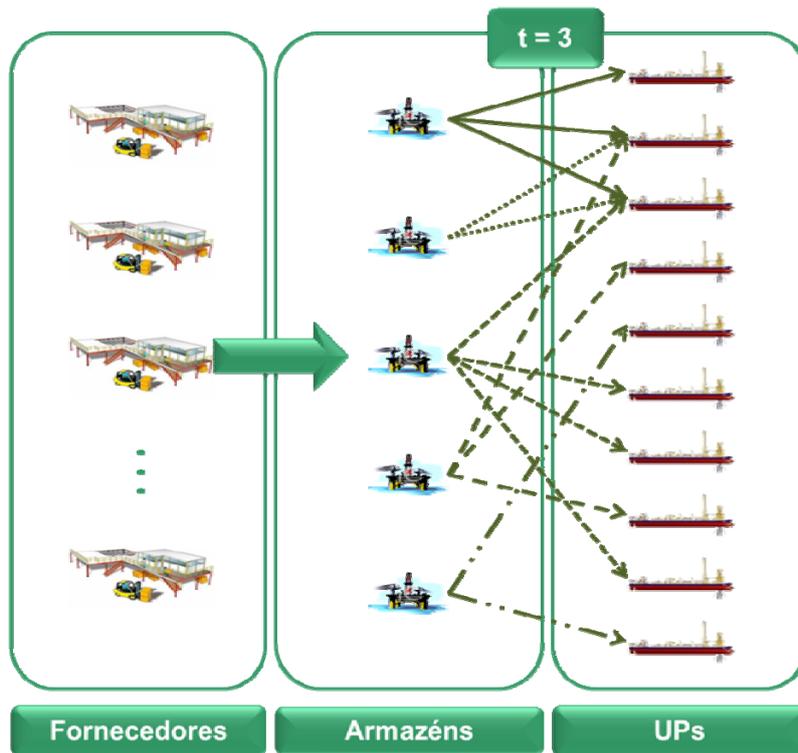


Figura 6.3 - Alocação de Armazéns para $t = 3$

6.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS ABORDAGENS DE RESOLUÇÃO

Para comparar os resultados dos modelos *MILP* com o modelo *MINLP* foram calculados percentuais da diferença entre os valores dos resultados gerados para os diferentes modelos. Em seguida tomou-se o valor absoluto para verificar a proximidade com os valores encontrados para o modelo *MINLP*. Abaixo segue a fórmula para o cálculo do *Erro MILP*:

$$ERROMILP = \left| \frac{(RESULTADOMINLP - RESULTADOMILP)}{RESULTADOMINLP} \right| \quad (6.4.1)$$

Devido à grande quantidade de dados, preferiu-se avaliar os dados médios de cada modelo: *MINLP*, *MILP R1*, *MILP R2* e *MILP R3*. Também se avaliou os desvios padrão.

A partir desse indicador, foram analisados os erros para a FO. Em seguida observaram-se os efeitos para o estoque de segurança. Ao final, são comparados os valores encontrados para os custos totais de Custo de Estoque (*CE*), Custo de Colocação do Pedido (*CP*), Custo de Ressuprimento (*CR*) e Custo de Transporte (*CT*).

a) Erro *MILP* para a Função Objetivo

Ao compararmos os erros percentuais entre os modelos *MILP*, é possível perceber algumas diferenças nos valores. Foram comparados os erros absolutos em relação aos resultados do modelo *MINLP*. Os valores médios e o desvio-padrão foram tabelados abaixo:

	ERRO ABSOLUTO MILP		
	R1	R2	R3
MÉDIA	1,15%	0,02%	0,16%
DESVIO PADRÃO	5,92%	0,72%	14,91%

Tabela 6.1- Comparação entre Resultados da FO

De uma forma geral, os erros encontrados para os três modelos comparados foram baixos. A partir dos resultados da *Tabela 6.5* podemos verificar que os valores obtidos para *MILPR2* foram os que mais se aproximaram dos valores encontrados para o modelo *MINLP*. Já os erros encontrados para o programa *MILP R3* também foram consideravelmente pequenos, porém possuem a variabilidade mais alta entre todos.

b) Erro *MILP* para o Estoque de Segurança

Apesar de os resultados de FO serem equivalentes aos do modelo *MILP*, há queda de rendimento quando o assunto é Estoque de Segurança (e consequentemente Estoque). A linearização da função do estoque de segurança relaxa a condição de não linearidade das variáveis dos modelos *MINLP* e em consequência é esperado que haja resultados relativamente dissonantes. A *Tabela 6.2* apresenta os resultados encontrados.

	ERRO ABSOLUTO MILP		
	R1	R2	R3
MÉDIA	33,67%	47,13%	61,42%
DESVIO PADRÃO	23,87%	17,77%	13,30%

Tabela 6.2 – Comparação entre Resultados do Estoque de Segurança

Conforme pode ser observado, os valores para o erro são em geral mais altos. Em termos dos efeitos do particionamento da função de estoque de segurança, observou-se que quanto maior o valor de partições N , maior o erro encontrado. Embora intuitivamente sejamos levados a pensar que quanto maior o número de partições, mais próximo da curva real a linearização fica, isso não se aplica ao modelo. Pelo contrário, os valores pioram com o crescimento de N .

Isso ocorre por conta da fórmula de geração dos valores das extremidades das partições (ϕ_{it}^r) que é feita segundo uma função quadrada, conforme a fórmula (6.4.2):

$$\phi_{it}^r = \left(\frac{r}{N} \sqrt{L_i \sum_j \sigma_j^2} \right)^2 \quad (6.4.2)$$

Isso significa que quanto maior N , mais valores diferentes ϕ'_{it} a função assumirá para aproximar a curva, de tal forma que os valores incorrerão em diferenças cada vez maiores em relação ao seu antecessor. Esse crescente distanciamento entre uma extremidade de partição e outra determina a crescente distorção da função estoque de segurança.

c) Erro *MILP* para os a Distribuição de Custos

De forma a detectar as possíveis origens dos erros encontrados para a FO, é possível avaliar os valores dos custos totais. Foram comparados os valores para média e desvio-padrão para *CE*, *CP*, *CR* e *CT*. As médias dos erros encontrados para os custos totais são apresentados no *Gráfico 6.9*.

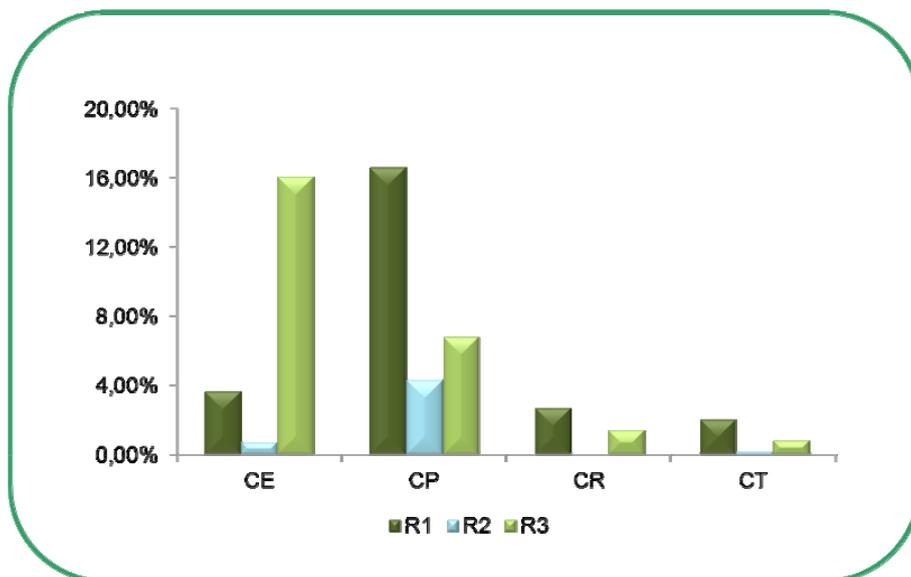


Gráfico 6.9 - Média do Erro MILP para a Distribuição de Custos

Como ocorrido para a FO, os erros de *R2* são os menores entre todos os custos. Já os erros de *R1* são maiores para a maioria dos custos, tendo impactodireto no valor do erro da FO. Somente em *CE*, o custo de *R2* é superado: *R3* possui pouca acuracidade em consequência do erro para o estoque de segurança. O *Gráfico 6.10* apresenta os resultados para o desvio-padrão do erro *MILP*.

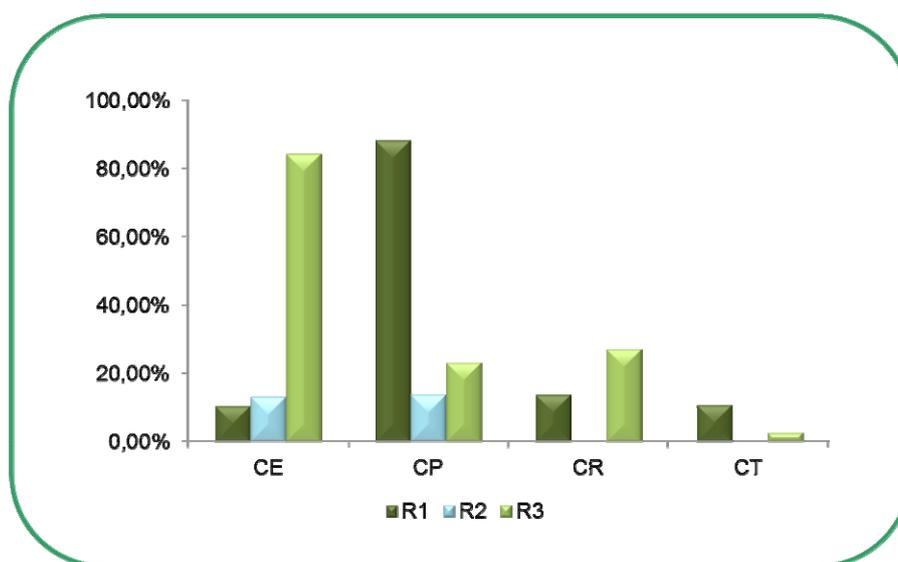


Gráfico 6.10 - Desvio-Padrão do Erro MILP para a Distribuição de Custos

A exemplo da variabilidade constatada para a FO, os valores desvios-padrão de *R2* são os menores entre todos os custos, exceto para *CE*. Já *R1*, possui pouca estabilidade dos resultados em *CP*, enquanto *R3* gera alta variância em *CE*.

7. CONCLUSÃO

O problema de localização de armazéns e alocação de estoques foi abordado por meio de um enfoque de programação matemática não-linear. Inicialmente se propôs um modelo protótipo para investigar o comportamento do programa ante os dados de entrada fornecidos. Entretanto, verificou-se dificuldade no processamento dos dados.

De forma a contornar a ausência de uma solução ótima, somente para o modelo protótipo foram rodadas novamente instâncias fixando-se atendimentos a UPs. Essa estratégia visou permitir a definição de valores ótimos globais para o modelo. Para os demais experimentos, utilizou-se como recurso um modelo linearizado por partes. A não-linearidade presente no estoque de segurança foi substituída por segmentos de reta interligados a partir de iterações dos parâmetros de entrada.

Dessa forma os dados do modelo protótipo foram novamente comparados. O modelo linearizado, porém careceu de definições de quantidade de partições. Dessa forma, foram gerados três modelos linearizados para averiguar o comportamento da quantidade das partições em relação aos resultados obtidos.

Com os modelos já em funcionamento, foram inseridos os dados de estudo de uma empresa de óleo e gás. Foram geradas instâncias que simulavam varrições em separado dos parâmetros de entrada. Também foram incluídas instâncias que modificavam a cadeia de suprimentos original: a quantidade de localidades de armazéns e a quantidade de UPs foram modificadas.

Foram geradas 30 instâncias e 4 programas, totalizando 120 resultados diferentes. Os resultados foram comparados primeiramente em termos de impacto na FO. Em seguida investigou-se aqueles que tiveram relevante interferência nos resultados com a geração de gráficos de distribuição percentual de custos. Houve ainda uma análise para os efeitos de política de alocação de estoques no tempo, bem como a comparação entre os três modelos linearizados criados.

7.1. COMENTÁRIOS FINAIS

A maioria dos trabalhos de localização presentes na literatura assume a premissa de que cada mercado é servido por somente um armazém (sistemas independentes) e que as demandas são fixas no tempo. Tais premissas levam a formulações simplificadas dos estoques de ciclo e de segurança. O modelo proposto neste estudo assume, assim, premissas menos restritivas e mais próximas da realidade. A incorporação do Gerenciamento Dinâmico de Estoques ao Efeito de Consolidação dentro de um problema de localização de armazéns contribuiu com uma nova abordagem para os estudos existentes na literatura. Foram considerados simultaneamente os estoques de ciclo e de segurança sob os efeitos de variação da demanda no tempo, bem como a premissa de *cross-filling*.

A existência de variáveis inteiras e contínuas, bem como não linearidade nas relações entre as variáveis, tornam o programa um problema não-linear inteiro misto - MINLP, cuja complexidade de resolução é muito elevada. A maioria dos softwares disponíveis no mercado ainda apresentam problemas para a implementação de problemas como este. Os *solvers* adequados ainda são escassos e possuem limitações. Devido ao grau de complexidade do modelo, nem mesmo o solver considerado o estado da arte em MINLP após aproximadamente 40h de execução conseguiu encontrar o ótimo global para um pequeno exemplo protótipo.

Após a utilização da ferramenta de linearização por partes foi possível gerar resultados para o problema proposto. Os resultados gerados permitiram estabelecer limites inferiores mais próximos das soluções provisoriamente indicadas no MINLP. A substituição da não-linearidade por linearização por partes, também permitiu que a modelagem pudesse ser utilizada para instancias maiores.

Como principais constatações dos experimentos, verificou-se que houve grandes perdas no estoque de segurança e que o particionamento das linearizações interfere nos resultados. Os modelos linearizados demonstraram reagir bem aos experimentos, incorrendo em erros percentuais muito baixos em relação ao modelo original. Entretanto, verificou-se que a linearização produz significativa distorção nos valores de estoque de segurança. O modelo linearizado R2 (com parâmetro $r = 20$), foi o modelo

com melhor desempenho. Os demais modelos incorreram em maiores erros percentuais em relação aos valores do modelo MINLP.

Cabe ressaltar que a modelagem apresentada não é restrita ao problema de abastecimento de UPs offshore. Na realidade a aplicação só se deve ao modelo apresentado ter sido processado com dados de um caso particular que considerasse tal condição. Isto é, o presente modelo pode ser utilizado para casos em que os armazéns tenham de se localizar em terra e/ou outras localidades. Além disso, não há especificidade de produtos, demais setores de mercado podem utilizar a formulação desde que sejam respeitadas as premissas apresentadas.

7.2. TRABALHOS FUTUROS

Como oportunidades futuras de estudo, pode-se buscar outros mecanismos para que a complexidade do modelo PGDAE possa ser atenuada, tais como: a utilização de metaheurísticas ou o uso de relaxação lagrangeana. Um método efetivo de solução do problema permitirá uma melhor análise dos resultados considerando a interação dos diversos parâmetros, levando a uma melhor escolha das políticas de alocação de estoques e da configuração da rede de suprimentos.

Do ponto de vista da formulação do modelo, outras questões poderiam ser mais bem testadas como a introdução de correlação entre demandas e desvios-padrão do *lead time* de ressuprimento. Um ponto importante é a formulação de um modelo multiproduto no qual diferentes produtos seriam avaliados para realização de compras, estoque e transporte.

A linearização contou com fórmulas de geração de parâmetros pouco estudadas por essa pesquisa. A formação das partições, bem como os limites das mesmas poderiam ser comparados a partir diferentes fórmulas de geração de parâmetros. A fórmula escolhida considerou uma função quadrática em contraposição a aproximação da função estoque de segurança. Esse estudo inclusive serviria para verificar a melhor maneira de reduzir os erros encontrados para o estoque de segurança.

A coleta de dados para o modelo foi limitada. Os dados disponíveis tiveram de ser tratados e até mesmo foi preciso simulá-los segundo seus parâmetros estatísticos. Caberia realizar uma pesquisa mais consistente, com a disponibilização dos parâmetros necessários ao modelo.

As instâncias desenvolvidas se mostraram um tanto limitadas. O modelo ainda carece de maior experimentação, principalmente para fins de estudo de políticas de alocação no tempo. Os parâmetros de entrada não foram capazes de testar condições nas quais o modelo deveria optar por localidades de forma mais restrita. Pelo contrário, os resultados mostraram que quase todas as localidades foram usadas. Um estudo posterior poderia investigar as políticas de alocação no tempo a partir de outras instâncias.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROSINO, D., SCUTELLÀ, M. G. “Distribution Network Design: New Problems and Related Models”, **European Journal of Operational Research** v. 165, pp. 610-624, 2005.

BALLOU, R. H. “DISPLAN: A Multiproduct Plant/Warehouse Location Model with Nonlinear Inventory Costs”, **Journal of Operations Management** v. 5, n. 1, pp. 75-80, 1984.

BALLOU, R. H., BURNETAS, A. “Planning Multiple Location Inventories”, **Journal of Business Logistics** v. 24, n. 2, pp. 65-89, 2003.

CROXTON, K. L., GENDRON, B., & MAGNANTI, T. L. (2007). “Variable Disaggregation in Network Flow Problems with Piecewise Linear Costs”, **Operations Research**, 55(1), pp. 146-157. doi:10.1287/opre.1060.0314

CROXTON, K. L., GENDRON, B., & MAGNANTI, T. L. (2003). “A Comparison of Mixed-Integer Programming Models for Nonconvex Piecewise Linear Cost Minimization Problems”, **Management Science**, 49, n.9, pp. 1268-1273. doi:10.1287/mnsc.49.9.1268.16570

CROXTON, K. L., ZINN, W. “Inventory Considerations in Network Design”, **Journal of Business Logistics** v. 26, n.1, pp. 149-168, 2005.

DAS, C., TYAGI, R. “Role of inventory and Transportation Costs in Determining the Optimal Degree of Centralization”, **Transportation Research Part E** v. 33, pp. 171-179, 1997. 125

DASKIN, M. S., COULLARD, C. R. “An Inventory-Location Model: Formulation, Solution”, In: **Annals of Operations Research** v. 110, n.1, pp. 83–106, 2002.

DAVARIZ, R. C., 2006, **Procedimento para Análise de Rede Logística**. Dissertação de M.Sc., Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

EVERS, P. T. “Expanding the Square Root Law: An Analysis of Both Safety and Cycle Stocks”, **Logistics and Transportation Review** v. 3, n. 1, pp. 1-20, 1995.

EVERS, P. T., BEIER, F. J. “The Portfolio Effect and Multiple Consolidation Points: A Critical Assessment of the Square Root Law”, **Journal of Business Logistics** v. 14, n° 2, pp. 109-125, 1993.

EVERS, P. T., BEIER, F. J. “Operational Aspects of Inventory Consolidation Decision Making”, **Journal of Business Logistics** v. 19, n. 1, pp. 173-189, 1998.

FLEURY, P. F., WANKE, P. F., FIGUEIREDO, K. F. **Logística Empresarial: A Perspectiva Brasileira**, 1 ed. São Paulo, Editora Atlas, 2000.

FILHO, V. J. M. F., GARCIA, E. S. **Gestão de Estoques: Otimizando a Logística e a Cadeia de Suprimentos**. 1 ed., Rio de Janeiro, Interciência, 2006.

FRANGIONI, A., GENDRON, B. “0–1 Reformulations of the Multicommodity Capacitated Network Design Problem”, **Discrete Applied Mathematics**, 157, n.6, pp. 1229-1241. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.dam.2008.04.022 (2009).

JAYARAMAN, V. “Transportation, Facility Location and Inventory Issues in Distribution Network Design”, **International Journal of Operations & Production Management** v. 18, pp. 471-494, 1998.

JAYARAMAN, V., PIRKUL, H. “Planning and Coordination of Production and Distribution Facilities for Multiple Commodities”, **European Journal of Operational Research** v. 133, pp. 394-408, 2001.

JORGE, C. M. M., 2008, **Planejamento de Redes Logísticas Via Simulação: Analisando Fatores Determinantes das Decisões de Localização e Centralização da Distribuição**. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MAHMOUD, M. M. “Optimal Inventory Consolidation Schemes: A Portfolio Effect Analysis”, **Journal of Business Logistics** v. 13, n. 1, pp. 193-214, 1992.

MAISTER, D. H. “Centralization of Inventories and the “Square Root Law””. **International Journal of Physical Distribution & Materials Management** v. 6, n. 3, pp. 124-134, 1976.

MIRANDA, P. A.; GARRIDO, R. A. “Incorporating Inventory Control Decisions into a Strategic Distribution Network Design Model with Stochastic Demand”, **Transportation Research Part E** v. 40, pp. 183-296, 2004.

MONTEBELLER JUNIOR, E. J., 2009, **Incorporando o Efeito de Consolidação de Estoques no Planejamento de Redes Logísticas**, Dissertação de M.Sc., Instituto COPPEAD de Pós Graduação e Pesquisa em Administração de Empresas da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPEAD/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

OZSEN, L., COULLARD, C. R., & DASKIN, M. S. (2008). “Capacitated warehouse location model with risk pooling”, **Naval Research Logistics**, v. 55, n.4, 295-312, 2008. doi:10.1002/nav.20282

PETERSON, R., PYKE, D. F., SILVER, E. A. “Lot Sizing for Individual Items with Time-Varying Demanda”. In: GOLUB, B. L., TAVARES, K. A. **Inventory Management and Production Planning and Scheduling**. 3 ed., chapter 9, Hoboken, NJ, USA, John Wiley & Sons, 1998.

SHEN, Z. J., COULLARD, C., DASKIN, M. S. “A joint location-inventory model,” **Transportation Science**, vol. 37, no. 1, pp. 40–55., 2003.

TALLON, W. J. “The Impact of Inventory Centralization on Aggregate Safety Stock: The Variable Supply Lead Time Case”, **Journal of Business Logistics** v. 14, n. 1, pp. 185-203, 1993.

TYAGI, R.; DAS, C. “EXTENSION OF THE SQUARE ROOT LAW FOR SAFETY STOCKS TO DEMANDS with Unequal Variances”, **Journal of Business Logistics** v. 19, n. 2, pp. 197-203, 1998.

VIDYARTHI, N., CELEBI, E., ELHEDHLI, S., & JEWKES, E. “Integrated Production-Inventory-Distribution System Design with Risk Pooling: Model Formulation and Heuristic Solution”, **Transportation Science**, v. 41, n. 3, 392-408, 2007. doi:10.1287/trsc.1060.0173

WANKE, P. F. **Gestão de Estoques na Cadeia de Suprimentos: decisões e modelos quantitativos**. 1 ed. São Paulo, Atlas, 2008.

WANKE, P. F. “Consolidation Effects and Inventory Portfolios”, *Transportation Research. Part E* v. 45, pp. 107-124, 2009.

WANKE, P. F., SALIBY E. “Consolidation Effects: Whether and How Inventory Should Be Pooled”, **Transportation Research, Part E**, vol. 45, n.1, 2009, doi: 10.1016/j.tre.2009.01.006.

WANKE, P. F., ZINN, W. “Strategic Logistics Decision Making”, **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management** v. 34, n. 6, p. 466-478, 2004.

WOLSEY, L. A., **Integer Programming**. 1 Ed. Hoboken, NJ, USA, John Wiley & Sons, 1998.

YOU, F., & GROSSMANN, I. E. “Mixed-Integer Nonlinear Programming Models and Algorithms for Large-Scale Supply Chain Design with Stochastic Inventory Management”, **Ind. Eng. Chem. Res**, v. 47, pp. 7802-7817, 2008.

YOU, F., & GROSSMANN, I. E. “Integrated Multi-Echelon Supply Chain Design with Inventories Under Uncertainty: MINLP Models, Computational Strategies.” **AIChE Journal**, v. 56, n.2, pp. 419-440, 2010. doi:10.1002/aic.12010.

ZINN, W., LEVY, M., BOWERSOX, D. J. "Measuring the Effect of Inventory Centralization/Decentralization on Aggregate Safety Stock: "The Square Root Law" Revisited", **Journal of Business Logistics** v 10, n. 2, pp. 1-14, 1989.

ANEXOS

ANEXO 1 – DADOS DE ENTRADA DO MODELO PROTÓTIPO MINLP

Armazem:= {1,2,3,4};

UP:= {1,2};

Periodo:= {0,1,2,3};

R:= 10;

P:= 15;

M:= 20;

L(i,j):= DATA TABLE

	1	2
1	0.00	1.07
2	1.07	0.00
3	1.42	0.35
4	1.07	1.51;

D(j,t):= DATA TABLE

	0	1	2	3
1	0	800	300	900
2	0	500	600	400;

LT(i):= {1:2, 2:1, 3:1, 4:2};

sD(j):= {1:50, 2:100};

FS(i):= {1:1.65, 2:1.65, 3:1.65, 4:1.65};

Eo:= 300;

G:= 1500;

ANEXO 2 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP

ARQUIVO DE SAÍDA - PROBLEMA PGDAE

Função Objetivo = 68073.71

Facilidades Abertas:

t	i	j	w(i,j,t)	y(i,t)	E(i,t)	q(i,t)	SS(i,t)	w(i,j,t)* D(j,t)
0	1	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	1	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
1	1	1	0.2957	0	63.444	0.000	63.444	2e+02
1	1	2	0.0000	0	63.444	0.000	63.444	0.000
1	2	1	0.0917	1	166.880	440.214	166.880	73.334
1	2	2	1.0000	1	166.880	440.214	166.880	500.00

1	3	1	0.3169	0	46.446	0.000	46.446	3e+02
1	3	2	0.0000	0	46.446	0.000	46.446	0.000
1	4	1	0.2957	0	63.444	0.000	63.444	2e+02
1	4	2	0.0000	0	63.444	0.000	63.444	0.000
2	1	1	0.0929	0	35.566	0.000	35.566	27.878
2	1	2	0.0000	0	35.566	0.000	35.566	0.000
2	2	1	0.7361	1	179.542	833.503	179.542	2e+02
2	2	2	1.0000	1	179.542	833.503	179.542	600.00
2	3	1	0.0780	0	23.043	0.000	23.043	23.403
2	3	2	0.0000	0	23.043	0.000	23.043	0.000
2	4	1	0.0929	0	35.566	0.000	35.566	27.878
2	4	2	0.0000	0	35.566	0.000	35.566	0.000
3	1	1	0.0208	0	16.833	0.000	16.833	18.733
3	1	2	0.0000	0	16.833	0.000	16.833	0.000
3	2	1	0.9438	1	183.436	1253.335	183.436	8e+02
3	2	2	1.0000	1	183.436	1253.335	183.436	400.00
3	3	1	0.0145	0	9.950	0.000	9.950	13.092
3	3	2	0.0000	0	9.950	0.000	9.950	0.000
3	4	1	0.0208	0	16.833	0.000	16.833	18.733
3	4	2	0.0000	0	16.833	0.000	16.833	0.000

ANEXO 3 – DADOS DE ENTRADA DO MODELO PROTÓTIPO MILP

Armazem:= {1,2,3,4};

UP:= {1,2};

Periodo:= {0,1,2,3};

R:= 10;

P:= 15;

M:= 20;

L(i,j):= DATA TABLE

	1	2
1	0.00	1.07
2	1.07	0.00
3	1.42	0.35
4	1.07	1.51;

D(j,t):= DATA TABLE

	0	1	2	3
1	0	800	300	900
2	0	500	600	400;

LT(i):= {1:2, 2:1, 3:1, 4:2};

sD(j):= {1:50, 2:100};

FS(i):= {1:1.65, 2:1.65, 3:1.65, 4:1.65};

Eo:= 300;

G:= 1500;

Particao:= {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
9, 10};

Divisao:= 10;

Particoes (o):= {0:0.001, 1:1, 2:2, 3:3, 4:4, 5:5, 6:6,
7:7, 8:8, 9:9, 10:10};

ANEXO 4 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MILP

ARQUIVO DE SAÍDA - PROBLEMA LINEARIZACAO

Função Objetivo = 65905.92

Facilidades Abertas:

t	j	i	w(i,j,t)	y(i,t)	E(i,t)	q(i,t)	SS(i,t)	D(j,t)
-	-	-	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0	1	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	1	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	1	3	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	1	4	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	3	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	4	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
1	1	1	0.3017	0	58.637	0.000	58.637	800.00
1	1	2	0.0904	1	124.964	385.995	124.964	800.00
1	1	3	0.3062	0	43.756	0.000	43.756	800.00

1	1	4	0.3017	0	58.637	0.000	58.637	800.00
1	2	1	0.0000	0	58.637	0.000	58.637	500.00
1	2	2	0.9774	1	124.964	385.995	124.964	500.00
1	2	3	0.0226	0	43.756	0.000	43.756	500.00
1	2	4	0.0000	0	58.637	0.000	58.637	500.00
2	1	1	0.0309	0	49.382	0.000	49.382	300.00
2	1	2	0.9087	1	90.554	838.210	90.554	300.00
2	1	3	0.0296	0	34.887	0.000	34.887	300.00
2	1	4	0.0309	0	49.382	0.000	49.382	300.00
2	2	1	0.0000	0	49.382	0.000	49.382	600.00
2	2	2	1.0000	1	90.554	838.210	90.554	600.00
2	2	3	0.0000	0	34.887	0.000	34.887	600.00
2	2	4	0.0000	0	49.382	0.000	49.382	600.00
3	1	1	0.0011	0	48.366	0.000	48.366	900.00
3	1	2	0.9970	1	92.182	1298.901	92.182	900.00
3	1	3	0.0008	0	34.191	0.000	34.191	900.00
3	1	4	0.0011	0	48.366	0.000	48.366	900.00
3	2	1	0.0000	0	48.366	0.000	48.366	400.00
3	2	2	1.0000	1	92.182	1298.901	92.182	400.00
3	2	3	0.0000	0	34.191	0.000	34.191	400.00
3	2	4	0.0000	0	48.366	0.000	48.366	400.00

Linearização por Partes:

t	r	j	i	u(i,t,r)	v(i,j,t,r)
---	-	-	-	-----	-----
0	0	1	1	1.000	0.000
0	0	2	1	1.000	0.000
0	0	3	1	1.000	0.000
0	0	4	1	1.000	0.000
0	0	1	2	1.000	0.000
0	0	2	2	1.000	0.000
0	0	3	2	1.000	0.000
0	0	4	2	1.000	0.000
1	1	1	1	1.000	754.258
1	1	3	1	1.000	495.742
1	1	4	1	1.000	754.258
1	1	1	2	1.000	754.258
1	1	3	2	1.000	495.742
1	1	4	2	1.000	754.258
1	8	2	1	1.000	5000.000
1	8	2	2	1.000	5000.000
2	1	1	1	1.000	77.131

2	1	3	1	1.000	36.953
2	1	4	1	1.000	77.131
2	1	1	2	1.000	77.131
2	1	3	2	1.000	36.953
2	1	4	2	1.000	77.131
2	10	2	1	1.000	6135.916
2	10	2	2	1.000	6135.916
3	1	1	1	1.000	2.821
3	1	3	1	1.000	0.966
3	1	4	1	1.000	2.821
3	1	1	2	1.000	2.821
3	1	3	2	1.000	0.966
3	1	4	2	1.000	2.821
3	10	2	1	1.000	6246.212
3	10	2	2	1.000	6246.212

FIM DO PROCESSAMENTO

ANEXO 5 – RESULTADOS DADOS DE ENTRADA DO MODELO PROTÓTIPO
MINLP SEGMENTADOPOR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO

Armazem:= {1,2,3,4};

UP:= {1,2};

Periodo:= {0,1,2,3};

R:= 10;

P:= 15;

M:= 20;

L(i,j):= DATA TABLE

	1	2
1	0.00	1.07
2	1.07	0.00
3	1.42	0.35
4	1.07	1.51;

D(j,t):= DATA TABLE

	0	1	2	3
1	0	800	300	900

2 0 500 600 400;

c(j,k):= DATA TABLE

	1	2
1	1	0.3
2	0.3	1;

LT(i):= {1:2, 2:1, 3:1, 4:2};

sD(j):= {1:50, 2:100};

sLT(i):= {1:0.5, 2:0.9, 3:0.3, 4:0.7};

FS(i):= {1:1.65, 2:1.65, 3:1.65, 4:1.65};

Eo:= 300;

G:= 1500;

A:= 900;

ANEXO 6 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO
 POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO - 01

 ARQUIVO DE SAÍDA - PROBLEMA PGDLAE

Função Objetivo = 94622.17

Facilidades Abertas:

t	i	j	w(i,j,t)	y(i,t)	E(i,t)	q(i,t)	SS(i,t)	D(j,t)
-	-	-	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0	1	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	1	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
1	1	1	1.0000	1	116.673	616.673	116.673	800.00
1	1	2	0.0000	1	116.673	616.673	116.673	0.000

1	2	1	0.0000	0	162.227	0.000	86.613	0.000
1	2	2	0.2755	0	162.227	0.000	86.613	1e+02
1	3	1	0.0000	0	103.451	0.000	103.451	0.000
1	3	2	0.3931	0	103.451	0.000	103.451	2e+02
1	4	1	0.0000	0	134.322	0.000	134.322	0.000
1	4	2	0.3314	0	134.322	0.000	134.322	2e+02
2	1	1	1.0000	1	116.673	300.000	116.673	300.00
2	1	2	0.0000	1	116.673	300.000	116.673	0.000
2	2	1	0.0000	1	148.455	471.932	148.455	0.000
2	2	2	0.8095	1	148.455	471.932	148.455	5e+02
2	3	1	0.0000	0	49.485	0.000	49.485	0.000
2	3	2	0.0899	0	49.485	0.000	49.485	53.966
2	4	1	0.0000	0	73.992	0.000	73.992	0.000
2	4	2	0.1005	0	73.992	0.000	73.992	60.329
3	1	1	1.0000	1	116.673	900.000	116.673	900.00
3	1	2	0.0000	1	116.673	900.000	116.673	0.000
3	2	1	0.0000	1	157.177	371.691	157.177	0.000
3	2	2	0.9074	1	157.177	371.691	157.177	4e+02
3	3	1	0.0000	0	33.246	0.000	33.246	0.000
3	3	2	0.0406	0	33.246	0.000	33.246	16.239
3	4	1	0.0000	0	53.201	0.000	53.201	0.000

3 4 2 0.0520 0 53.201 0.000 53.201 20.792

TEMPO: 404,45 segundos

ANEXO 7 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO
 POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO- 02

Função Objetivo = 90737.75

 Facilidades Abertas:

t	i	j	w(i,j,t)	y(i,t)	E(i,t)	q(i,t)	SS(i,t)	D(j,t)
-	-	-	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0	1	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	1	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
1	1	1	0.0000	1	233.345	433.345	233.345	0.000
1	1	2	1.0000	1	233.345	433.345	233.345	500.00
1	2	1	0.3874	1	51.347	61.236	51.347	3e+02
1	2	2	0.0000	1	51.347	61.236	51.347	0.000

1	3	1	0.3169	0	46.446	0.000	46.446	3e+02
1	3	2	0.0000	0	46.446	0.000	46.446	0.000
1	4	1	0.2957	0	63.444	0.000	63.444	2e+02
1	4	2	0.0000	0	63.444	0.000	63.444	0.000
2	1	1	0.0000	1	233.345	600.000	233.345	0.000
2	1	2	1.0000	1	233.345	600.000	233.345	600.00
2	2	1	0.8291	1	75.119	272.491	75.119	2e+02
2	2	2	0.0000	1	75.119	272.491	75.119	0.000
2	3	1	0.0780	0	23.043	0.000	23.043	23.403
2	3	2	0.0000	0	23.043	0.000	23.043	0.000
2	4	1	0.0929	0	35.566	0.000	35.566	27.878
2	4	2	0.0000	0	35.566	0.000	35.566	0.000
3	1	1	0.0000	1	233.345	400.000	233.345	0.000
3	1	2	1.0000	1	233.345	400.000	233.345	400.00
3	2	1	0.9646	1	81.028	874.084	81.028	9e+02
3	2	2	0.0000	1	81.028	874.084	81.028	0.000
3	3	1	0.0145	0	9.950	0.000	9.950	13.092
3	3	2	0.0000	0	9.950	0.000	9.950	0.000
3	4	1	0.0208	0	16.833	0.000	16.833	18.733
3	4	2	0.0000	0	16.833	0.000	16.833	0.000

TEMPO = 994,66 segundos

ANEXO 8 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO
 POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO- 03

 ARQUIVO DE SAÍDA - PROBLEMA PGDLAE

Função Objetivo = 76346.11

Facilidades Abertas:

t	i	j	w(i,j,t)	y(i,t)	E(i,t)	q(i,t)	SS(i,t)	D(j,t)
-	-	-	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0	1	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	1	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
1	1	1	0.0000	0	134.322	0.000	134.322	0.000

1	1	2	0.3314	0	134.322	0.000	134.322	2e+02
1	2	1	1.0000	1	82.500	582.500	82.500	800.00
1	2	2	0.0000	1	82.500	582.500	82.500	0.000
1	3	1	0.0000	0	131.356	0.000	95.826	0.000
1	3	2	0.3373	0	131.356	0.000	95.826	2e+02
1	4	1	0.0000	0	134.322	0.000	134.322	0.000
1	4	2	0.3314	0	134.322	0.000	134.322	2e+02
2	1	1	0.0000	0	73.992	0.000	73.992	0.000
2	1	2	0.1005	0	73.992	0.000	73.992	60.329
2	2	1	1.0000	1	158.801	782.066	158.801	300.00
2	2	2	0.6763	1	158.801	782.066	158.801	4e+02
2	3	1	0.0000	0	57.780	0.000	57.780	0.000
2	3	2	0.1226	0	57.780	0.000	57.780	73.576
2	4	1	0.0000	0	73.992	0.000	73.992	0.000
2	4	2	0.1005	0	73.992	0.000	73.992	60.329
3	1	1	0.0000	0	53.201	0.000	53.201	0.000
3	1	2	0.0520	0	53.201	0.000	53.201	20.792
3	2	1	1.0000	1	172.651	1251.804	172.651	900.00
3	2	2	0.8449	1	172.651	1251.804	172.651	3e+02
3	3	1	0.0000	0	37.318	0.000	37.318	0.000
3	3	2	0.0512	0	37.318	0.000	37.318	20.462

3	4	1	0.0000	0	53.201	0.000	53.201	0.000
3	4	2	0.0520	0	53.201	0.000	53.201	20.792

TEMPO = 548,78 segundos

ANEXO 9 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP
 SEGMENTADOPOR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO- 04

 ARQUIVO DE SAÍDA - PROBLEMA PGDLAE

Função Objetivo = 68073.71

Facilidades Abertas:

t	i	j	w(i,j,t)	y(i,t)	E(i,t)	q(i,t)	SS(i,t)	D(j,t)
-	-	-	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0	1	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	1	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
1	1	1	0.2957	0	63.444	0.000	63.444	2e+02
1	1	2	0.0000	0	63.444	0.000	63.444	0.000

1	2	1	0.0917	1	166.880	440.214	166.880	73.334
1	2	2	1.0000	1	166.880	440.214	166.880	500.00
1	3	1	0.3169	0	46.446	0.000	46.446	3e+02
1	3	2	0.0000	0	46.446	0.000	46.446	0.000
1	4	1	0.2957	0	63.444	0.000	63.444	2e+02
1	4	2	0.0000	0	63.444	0.000	63.444	0.000
2	1	1	0.0929	0	35.566	0.000	35.566	27.878
2	1	2	0.0000	0	35.566	0.000	35.566	0.000
2	2	1	0.7361	1	179.542	833.503	179.542	2e+02
2	2	2	1.0000	1	179.542	833.503	179.542	600.00
2	3	1	0.0780	0	23.043	0.000	23.043	23.403
2	3	2	0.0000	0	23.043	0.000	23.043	0.000
2	4	1	0.0929	0	35.566	0.000	35.566	27.878
2	4	2	0.0000	0	35.566	0.000	35.566	0.000
3	1	1	0.0208	0	16.833	0.000	16.833	18.733
3	1	2	0.0000	0	16.833	0.000	16.833	0.000
3	2	1	0.9438	1	183.436	1253.335	183.436	8e+02
3	2	2	1.0000	1	183.436	1253.335	183.436	400.00
3	3	1	0.0145	0	9.950	0.000	9.950	13.092
3	3	2	0.0000	0	9.950	0.000	9.950	0.000
3	4	1	0.0208	0	16.833	0.000	16.833	18.733

3 4 2 0.0000 0 16.833 0.000 16.833 0.000

TEMPO = 2746,63 segundos

ANEXO 10 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO
 POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO- 05

 ARQUIVO DE SAÍDA - PROBLEMA PGDLAE

Função Objetivo = 77214.48

Facilidades Abertas:

t	i	j	w(i,j,t)	y(i,t)	E(i,t)	q(i,t)	SS(i,t)	D(j,t)
-	-	-	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0	1	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	1	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
1	1	1	0.0000	0	134.322	0.000	134.322	0.000

1	1	2	0.3314	0	134.322	0.000	134.322	2e+02
1	2	1	0.0000	0	131.356	0.000	95.826	0.000
1	2	2	0.3373	0	131.356	0.000	95.826	2e+02
1	3	1	1.0000	1	82.500	582.500	82.500	800.00
1	3	2	0.0000	1	82.500	582.500	82.500	0.000
1	4	1	0.0000	0	134.322	0.000	134.322	0.000
1	4	2	0.3314	0	134.322	0.000	134.322	2e+02
2	1	1	0.0000	0	73.992	0.000	73.992	0.000
2	1	2	0.1005	0	73.992	0.000	73.992	60.329
2	2	1	0.0000	0	57.780	0.000	57.780	0.000
2	2	2	0.1226	0	57.780	0.000	57.780	73.576
2	3	1	1.0000	1	158.801	782.066	158.801	300.00
2	3	2	0.6763	1	158.801	782.066	158.801	4e+02
2	4	1	0.0000	0	73.992	0.000	73.992	0.000
2	4	2	0.1005	0	73.992	0.000	73.992	60.329
3	1	1	0.0000	0	53.201	0.000	53.201	0.000
3	1	2	0.0520	0	53.201	0.000	53.201	20.792
3	2	1	0.0000	0	37.318	0.000	37.318	0.000
3	2	2	0.0512	0	37.318	0.000	37.318	20.462
3	3	1	1.0000	1	172.651	1251.804	172.651	900.00
3	3	2	0.8449	1	172.651	1251.804	172.651	3e+02

3	4	1	0.0000	0	53.201	0.000	53.201	0.000
3	4	2	0.0520	0	53.201	0.000	53.201	20.792

TEMPO = 1471,63 segundos

ANEXO 11 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO
 POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO- 06

 ARQUIVO DE SAÍDA - PROBLEMA PGDLAE

Função Objetivo = 68897.46

Facilidades Abertas:

t	i	j	w(i,j,t)	y(i,t)	E(i,t)	q(i,t)	SS(i,t)	D(j,t)
0	1	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	1	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
1	1	1	0.2957	0	63.444	0.000	63.444	2e+02

1	1	2	0.0000	0	63.444	0.000	63.444	0.000
1	2	1	0.3169	0	46.446	0.000	46.446	3e+02
1	2	2	0.0000	0	46.446	0.000	46.446	0.000
1	3	1	0.0917	1	166.880	440.214	166.880	73.334
1	3	2	1.0000	1	166.880	440.214	166.880	500.00
1	4	1	0.2957	0	63.444	0.000	63.444	2e+02
1	4	2	0.0000	0	63.444	0.000	63.444	0.000
2	1	1	0.0929	0	35.566	0.000	35.566	27.878
2	1	2	0.0000	0	35.566	0.000	35.566	0.000
2	2	1	0.0780	0	23.043	0.000	23.043	23.403
2	2	2	0.0000	0	23.043	0.000	23.043	0.000
2	3	1	0.7361	1	179.542	833.503	179.542	2e+02
2	3	2	1.0000	1	179.542	833.503	179.542	600.00
2	4	1	0.0929	0	35.566	0.000	35.566	27.878
2	4	2	0.0000	0	35.566	0.000	35.566	0.000
3	1	1	0.0208	0	16.833	0.000	16.833	18.733
3	1	2	0.0000	0	16.833	0.000	16.833	0.000
3	2	1	0.0145	0	9.950	0.000	9.950	13.092
3	2	2	0.0000	0	9.950	0.000	9.950	0.000
3	3	1	0.9438	1	183.436	1253.335	183.436	8e+02
3	3	2	1.0000	1	183.436	1253.335	183.436	400.00

3	4	1	0.0208	0	16.833	0.000	16.833	18.733
3	4	2	0.0000	0	16.833	0.000	16.833	0.000

TEMPO = 2219,16

ANEXO 12 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO
 POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO - 07

 ARQUIVO DE SAÍDA - PROBLEMA PGDLAE

Função Objetivo = 96653.58

Facilidades Abertas:

t	i	j	w(i,j,t)	y(i,t)	E(i,t)	q(i,t)	SS(i,t)	D(j,t)
-	-	-	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0	1	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	1	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
1	1	1	0.0000	0	134.322	0.000	134.322	0.000

1	1	2	0.3314	0	134.322	0.000	134.322	2e+02
1	2	1	0.0000	0	162.227	0.000	86.613	0.000
1	2	2	0.2755	0	162.227	0.000	86.613	1e+02
1	3	1	0.0000	0	103.451	0.000	103.451	0.000
1	3	2	0.3931	0	103.451	0.000	103.451	2e+02
1	4	1	1.0000	1	116.673	616.673	116.673	800.00
1	4	2	0.0000	1	116.673	616.673	116.673	0.000
2	1	1	0.0000	0	73.992	0.000	73.992	0.000
2	1	2	0.1005	0	73.992	0.000	73.992	60.329
2	2	1	0.0000	1	148.455	471.932	148.455	0.000
2	2	2	0.8095	1	148.455	471.932	148.455	5e+02
2	3	1	0.0000	0	49.485	0.000	49.485	0.000
2	3	2	0.0899	0	49.485	0.000	49.485	53.966
2	4	1	1.0000	1	116.673	300.000	116.673	300.00
2	4	2	0.0000	1	116.673	300.000	116.673	0.000
3	1	1	0.0000	0	53.201	0.000	53.201	0.000
3	1	2	0.0520	0	53.201	0.000	53.201	20.792
3	2	1	0.0000	1	157.177	371.691	157.177	0.000
3	2	2	0.9074	1	157.177	371.691	157.177	4e+02
3	3	1	0.0000	0	33.246	0.000	33.246	0.000
3	3	2	0.0406	0	33.246	0.000	33.246	16.239

3	4	1	1.0000	1	116.673	900.000	116.673	900.00
3	4	2	0.0000	1	116.673	900.000	116.673	0.000

TEMPO = 1561,47

ANEXO 13 – RESULTADOS DO MODELO PROTÓTIPO MINLP SEGMENTADO
 POR FIXAÇÃO DE ALOCAÇÃO - 08

 ARQUIVO DE SAÍDA - PROBLEMA PGDLAE

Função Objetivo = 91094.76

Facilidades Abertas:

t	i	j	w(i,j,t)	y(i,t)	E(i,t)	q(i,t)	SS(i,t)	D(j,t)
-	-	-	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0	1	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	1	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	2	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	3	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	1	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
0	4	2	0.0000	0	300.000	0.000	0.000	0.000
1	1	1	0.2957	0	63.444	0.000	63.444	2e+02

1	1	2	0.0000	0	63.444	0.000	63.444	0.000
1	2	1	0.3874	1	51.347	61.236	51.347	3e+02
1	2	2	0.0000	1	51.347	61.236	51.347	0.000
1	3	1	0.3169	0	46.446	0.000	46.446	3e+02
1	3	2	0.0000	0	46.446	0.000	46.446	0.000
1	4	1	0.0000	1	233.345	433.345	233.345	0.000
1	4	2	1.0000	1	233.345	433.345	233.345	500.00
2	1	1	0.0929	0	35.566	0.000	35.566	27.878
2	1	2	0.0000	0	35.566	0.000	35.566	0.000
2	2	1	0.8291	1	75.119	272.491	75.119	2e+02
2	2	2	0.0000	1	75.119	272.491	75.119	0.000
2	3	1	0.0780	0	23.043	0.000	23.043	23.403
2	3	2	0.0000	0	23.043	0.000	23.043	0.000
2	4	1	0.0000	1	233.345	600.000	233.345	0.000
2	4	2	1.0000	1	233.345	600.000	233.345	600.00
3	1	1	0.0208	0	16.833	0.000	16.833	18.733
3	1	2	0.0000	0	16.833	0.000	16.833	0.000
3	2	1	0.9646	1	81.028	874.084	81.028	9e+02
3	2	2	0.0000	1	81.028	874.084	81.028	0.000
3	3	1	0.0145	0	9.950	0.000	9.950	13.092
3	3	2	0.0000	0	9.950	0.000	9.950	0.000

3	4	1	0.0000	1	233.345	400.000	233.345	0.000
3	4	2	1.0000	1	233.345	400.000	233.345	400.00

TEMPO = 457,63

ANEXO 14 – RESULTADOS DE QUANTIDADE COMPRADA TOTAL

QUANTIDADE COMPRADA					
	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO I	I-01	29630,230	29623,412	29616,321	29610,677
	I-02	SR	29623,411	29616,320	29610,673
	I-03	29630,230	29623,411	29616,320	29610,665
	I-04	29630,891	29623,412	29616,321	29610,677
	I-05	SR	29623,412	29616,336	29610,677
	I-06	29630,843	29623,412	29616,321	29610,677
	I-07	29630,891	29623,412	29616,336	29610,677
	I-08	SR	29623,412	29616,321	29610,677
	I-09	SR	29623,412	29616,321	29610,677
	I-10	60737,179	60730,410	60723,320	60717,705
	I-11	14078,656	14074,611	14065,213	14057,679
	I-12	29641,301	29636,854	29623,545	29610,169
	I-13	29623,653	29621,926	29615,252	29610,169
	I-14	29656,660	29649,210	29630,418	29615,351
	I-15	29618,642	29617,555	29612,835	29609,281
	I-16	28131,077	28128,110	28118,690	28111,167
	I-17	30380,719	30378,109	30368,670	30361,157
	I-18	29630,891	29628,109	29618,670	29611,158
	I-19	29630,891	29628,109	29618,670	29611,158
	I-20	29641,332	29636,810	29623,520	29612,880
	I-21	29625,335	29623,375	29616,053	29610,478
CONJUNTO II	I-22	28139,910	28151,824	28132,268	28127,694
	I-23	71446,940	71444,319	71434,263	71429,501
	I-24	69955,963	69960,853	69953,454	69966,095
	I-25	66956,486	66991,055	66957,026	68230,631
	I-26	178345,748	178337,101	178322,336	178334,163
	I-27	176812,832	176824,346	176808,880	SR
	I-28	173914,396	173875,848	173855,594	SR
	I-29	167813,360	173855,594	167970,143	SR
	I-30	164815,344	165160,638	168283,310	SR

ANEXO 15 – RESULTADOS DE ESTOQUE TOTAL

ESTOQUE TOTAL					
	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO I	I-01	1615,227	1558,759	1541,078	29610,677
	I-02	SR	1549,446	1533,912	1539,005
	I-03	1590,311	1549,445	1533,912	1518,403
	I-04	1615,227	1558,759	1541,078	1539,005
	I-05	SR	1558,759	1542,720	1539,005
	I-06	1615,179	1558,759	1541,078	1539,005
	I-07	1615,227	1558,759	1542,720	1539,005
	I-08	SR	1558,759	1541,078	1539,005
	I-09	SR	1558,759	1541,078	1539,005
	I-10	1600,270	1554,166	1536,491	60717,705
	I-11	1636,827	1584,521	1572,360	1556,406
	I-12	1665,012	1608,713	1576,909	1532,632
	I-13	1580,496	1554,330	1536,876	1532,632
	I-14	1736,661	1653,763	1608,834	1593,812
	I-15	1556,339	1538,416	1526,064	1522,744
	I-16	3132,724	3084,451	3074,193	3055,166
	I-17	852,323	818,461	795,693	789,217
	I-18	1615,227	1576,850	1552,167	1545,667
	I-19	1615,227	1576,850	1552,167	1545,667
	I-20	1664,843	1608,552	1576,795	1565,150
	I-21	1588,589	1559,608	1540,465	1535,816
CONJUNTO II	I-22	3698,105	3715,768	3670,634	3344,100
	I-23	1579,898	1563,979	1533,838	1519,500
	I-24	3142,925	3165,722	3122,231	3128,392
	I-25	6169,124	6289,173	6177,085	9924,139
	I-26	2451,302	2422,012	2371,660	11994,902
	I-27	3884,805	3897,093	3848,660	SR
	I-28	6436,226	6344,913	6285,640	SR
	I-29	13454,496	6285,640	13925,547	SR
	I-30	17436,646	18640,712	28120,342	SR

ANEXO 16 – RESULTADOS DE ESTOQUE DE SEGURANÇA TOTAL

ESTOQUE DE SEGURANÇA					
	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO I	I-01	115,227	50,146	41,078	39,005
	I-02	SR	35,284	33,912	18,022
	I-03	90,311	35,284	33,912	17,646
	I-04	115,227	50,146	41,078	39,005
	I-05	SR	50,146	41,093	39,005
	I-06	115,179	50,146	41,078	39,005
	I-07	115,227	50,146	41,093	39,005
	I-08	SR	50,146	41,078	39,005
	I-09	SR	50,146	41,078	39,005
	I-10	100,270	45,555	36,491	32,260
	I-11	136,827	84,521	72,360	56,406
	I-12	165,012	103,164	76,909	32,122
	I-13	80,496	48,240	36,876	32,122
	I-14	236,661	153,763	108,834	93,812
	I-15	56,339	34,109	26,064	22,107
	I-16	132,724	84,451	74,193	55,166
	I-17	102,323	55,158	45,693	39,217
	I-18	115,227	68,237	52,167	45,667
	I-19	115,227	68,237	52,167	45,667
	I-20	164,843	103,012	76,795	65,150
	I-21	88,589	52,926	40,465	35,255
CONJUNTO II	I-22	151,059	159,348	119,826	86,518
	I-23	79,898	39,655	24,158	8,873
	I-24	142,925	128,369	120,460	77,323
	I-25	169,124	208,610	146,662	75,204
	I-26	255,271	189,965	149,280	195,753
	I-27	190,370	146,276	145,365	SR
	I-28	436,226	313,145	252,359	SR
	I-29	350,580	252,359	311,061	SR
	I-30	431,909	582,398	324,674	SR

ANEXO 17 – RESULTADOS DE ABERTURA TOTAL DE ARMAZÉNS

ARMAZÉNS ABERTOS					
	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO I	I-01	15	15	15	15
	I-02	SR	15	15	15
	I-03	15	15	15	15
	I-04	15	15	15	15
	I-05	SR	15	15	15
	I-06	15	15	15	15
	I-07	15	15	15	15
	I-08	SR	15	15	15
	I-09	SR	15	15	15
	I-10	15	15	15	15
	I-11	15	15	15	15
	I-12	15	15	15	15
	I-13	15	15	15	15
	I-14	15	15	15	15
	I-15	15	15	15	15
	I-16	15	15	15	15
	I-17	15	15	15	15
	I-18	15	15	15	15
	I-19	15	15	15	15
	I-20	15	15	15	15
	I-21	15	15	15	15
CONJUNTO II	I-22	30	30	30	30
	I-23	15	15	15	15
	I-24	30	30	30	30
	I-25	60	60	60	60
	I-26	15	15	15	15
	I-27	30	30	30	SR
	I-28	60	60	60	SR
	I-29	119	119	120	SR
	I-30	150	150	150	SR

ANEXO 18 – RESULTADOS DE NÚMERO DE COMPRAS TOTAL

NÚMERO DE COMPRAS					
	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO I	I-01	3	3	3	3
	I-02	SR	3	3	3
	I-03	3	3	3	3
	I-04	3	3	3	3
	I-05	SR	3	3	3
	I-06	3	3	3	3
	I-07	3	3	3	3
	I-08	SR	3	3	3
	I-09	SR	3	3	3
	I-10	3	3	3	3
	I-11	3	3	3	3
	I-12	3	3	3	3
	I-13	3	3	3	3
	I-14	3	3	3	3
	I-15	3	3	3	3
	I-16	3	3	3	3
	I-17	3	3	3	3
	I-18	3	3	3	3
	I-19	3	3	3	3
	I-20	3	3	3	3
	I-21	3	3	3	3
CONJUNTO II	I-22	6	6	6	6
	I-23	3	3	3	3
	I-24	6	6	6	6
	I-25	6	6	6	6
	I-26	6	6	6	9
	I-27	6	6	6	SR
	I-28	37	31	33	SR
	I-29	6	33	6	SR
	I-30	6	6	6	SR

ANEXO 19 – RESULTADOS DE CUSTO DE ESTOQUE TOTAL

CUSTO DE ESTOQUE					
	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO I	I-01	96,914	93,526	92,465	92,340
	I-02	SR	92,967	92,035	91,127
	I-03	95,419	92,967	92,035	91,104
	I-04	193,827	187,051	184,929	184,681
	I-05	SR	46,763	46,282	46,170
	I-06	96,911	93,526	92,465	92,340
	I-07	96,914	93,526	92,563	92,340
	I-08	SR	93,526	92,465	92,340
	I-09	SR	93,526	92,465	92,340
	I-10	96,016	93,250	92,189	91,990
	I-11	98,210	95,071	94,342	93,384
	I-12	99,901	96,523	94,615	91,958
	I-13	94,830	93,260	92,213	91,958
	I-14	104,200	99,226	96,530	95,629
	I-15	93,380	92,305	91,564	91,365
	I-16	187,963	185,067	184,452	183,310
	I-17	51,139	49,108	47,742	47,353
	I-18	96,914	94,611	93,130	92,740
	I-19	96,914	94,611	93,130	92,740
	I-20	99,891	96,513	94,608	93,909
	I-21	95,315	93,576	92,428	92,149
CONJUNTO II	I-22	221,886	222,946	220,238	200,646
	I-23	94,794	93,839	92,030	91,170
	I-24	188,575	189,943	187,334	187,704
	I-25	370,147	377,350	370,625	595,448
	I-26	147,078	145,321	142,300	719,694
	I-27	233,088	233,826	230,920	SR
	I-28	386,174	380,695	377,138	SR
	I-29	807,270	377,138	835,533	SR
	I-30	1046,199	1118,443	1687,221	SR

ANEXO 20 – RESULTADOS DE CUSTO DE COLOCAÇÃO DE PEDIDO TOTAL

CUSTO DE COLOCAÇÃO DO PEDIDO					
	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO I	I-01	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-02	SR	191,220	191,220	191,220
	I-03	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-04	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-05	SR	191,220	191,220	191,220
	I-06	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-07	191,220	191,220	191,220	382,440
	I-08	SR	382,440	382,440	382,440
	I-09	SR	95,610	95,610	95,610
	I-10	191,220	191,220	95,610	191,220
	I-11	191,220	191,220	95,610	191,220
	I-12	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-13	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-14	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-15	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-16	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-17	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-18	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-19	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-20	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-21	191,220	191,220	191,220	191,220
CONJUNTO II	I-22	382,440	382,440	382,440	382,440
	I-23	191,220	191,220	191,220	191,220
	I-24	382,440	382,440	382,440	382,440
	I-25	382,440	382,440	382,440	382,440
	I-26	382,440	382,440	382,440	573,660
	I-27	382,440	382,440	382,440	SR
	I-28	2358,380	1975,940	2103,420	SR
	I-29	382,440	2103,420	382,440	SR
	I-30	382,440	382,440	382,440	SR

ANEXO 21 – RESULTADOS DE CUSTO DE RESSUPRIMENTO TOTAL

CUSTO DE RESSUPRIMENTO DO ARMAZÉM					
	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO I	I-01	7704,032	7702,087	7700,244	7698,776
	I-02	SR	7702,087	7700,243	7698,775
	I-03	7703,860	7702,087	7700,243	7698,773
	I-04	7704,032	7702,087	7700,244	7698,776
	I-05	SR	7702,087	7700,247	7698,776
	I-06	15408,038	15404,174	15400,487	15397,552
	I-07	3852,016	3851,044	3850,124	7698,776
	I-08	SR	7702,087	7700,244	7698,776
	I-09	SR	7702,087	7700,244	7698,776
	I-10	15791,666	15789,907	15788,063	15786,603
	I-11	3660,451	3659,399	3656,955	3654,996
	I-12	15413,477	15411,164	15404,243	3849,322
	I-13	3851,075	3850,850	3849,983	3849,322
	I-14	7710,732	7708,795	7703,909	7699,991
	I-15	7700,847	7700,564	7699,337	7698,413
	I-16	7314,080	7313,309	7310,859	7308,903
	I-17	7898,987	7898,308	7895,854	7893,901
	I-18	7704,032	7703,308	7700,854	7698,901
	I-19	7704,032	7703,308	7700,854	7698,901
	I-20	7706,746	7705,571	7702,115	7699,349
	I-21	7702,587	7702,078	7700,174	7698,724
CONJUNTO II	I-22	7316,376	7319,474	7314,390	7313,201
	I-23	18576,205	18575,523	18572,908	18571,670
	I-24	18188,550	18189,822	18187,898	18191,185
	I-25	17408,686	17417,674	17408,827	17739,964
	I-26	179008,502	178992,763	178965,891	189792,008
	I-27	45971,336	45974,330	45970,309	SR
	I-28	74609,276	74592,739	74584,050	SR
	I-29	43631,473	74584,050	43672,237	SR
	I-30	42851,990	42941,766	43753,661	SR

ANEXO 22 – RESULTADOS DE CUSTO DE TRANSPORTE TOTAL

CUSTO DE TRANSPORTE AO CLIENTE					
	EXPERIMENTO	MILNP	MILP		
			R1	R2	R3
CONJUNTO I	I-01	5692,872	5694,499	5693,544	5692,683
	I-02	SR	10204,972	10202,876	10201,208
	I-03	2605,223	2606,221	2605,686	2605,280
	I-04	5692,872	5694,499	5693,544	5692,683
	I-05	SR	5694,499	5693,442	5692,683
	I-06	5692,897	5694,499	5693,544	5692,683
	I-07	5692,872	5694,499	5693,442	5692,683
	I-08	SR	5694,499	5693,544	5692,683
	I-09	SR	5694,499	5693,544	5692,683
	I-10	11550,053	11551,879	11550,880	11550,013
	I-11	2764,513	2766,232	2764,968	2764,180
	I-12	5693,243	5695,975	5694,184	5692,654
	I-13	5692,673	5694,177	5693,279	5692,654
	I-14	5693,752	5697,463	5694,934	5693,222
	I-15	5692,554	5693,651	5693,016	5692,547
	I-16	5527,965	5530,043	5528,654	5527,791
	I-17	5775,292	5777,421	5776,151	5775,209
	I-18	5692,872	5694,922	5693,755	5692,734
	I-19	5692,872	5694,922	5693,755	5692,734
	I-20	5693,202	5695,970	5694,181	5692,933
	I-21	5692,716	5694,352	5693,366	5692,685
CONJUNTO II	I-22	3979,798	3985,472	3984,195	4063,215
	I-23	12866,574	12870,057	12868,301	12867,468
	I-24	11174,976	11181,634	11177,187	11183,554
	I-25	10706,716	10718,649	10711,844	11095,866
	I-26	17936,121	17940,816	17939,968	20079,506
	I-27	23462,931	23470,731	23466,704	SR
	I-28	9887,042	9849,322	10040,931	SR
	I-29	22092,380	10040,931	22128,086	SR
	I-30	21614,893	21647,863	22186,069	SR