

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

GABRIEL ROSSONI SILVA

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA  
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS  
MULTICAMADAS DO RAMO DE MINERAÇÃO ATRAVÉS DA ADOÇÃO  
DA ESTRATÉGIA COLABORATIVA VMI (VENDOR MANAGED  
INVENTORY)

São Paulo  
2010

GABRIEL ROSSONI SILVA

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA  
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS  
MULTICAMADAS DO RAMO DE MINERAÇÃO ATRAVÉS DA ADOÇÃO  
DA ESTRATÉGIA COLABORATIVA VMI (VENDOR MANAGED  
INVENTORY)

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia.

São Paulo  
2010

GABRIEL ROSSONI SILVA

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA  
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS  
MULTICAMADAS DO RAMO DE MINERAÇÃO ATRAVÉS DA ADOÇÃO  
DA ESTRATÉGIA COLABORATIVA VMI (VENDOR MANAGED  
INVENTORY)

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:  
Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Rui Carlos Botter

São Paulo  
2010

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Silva, Gabriel Rossoni**

**Desenvolvimento de um modelo de simulação para avaliação do desempenho de uma cadeia de suprimentos do ramo de mineração através da adoção da parceria VMI (Vendor Managed Inventory) / G.R. Silva. -- São Paulo, 2010.**

**p.**

**Dissertação (Mestrado Interdepartamental em Engenharia de Sistemas Logísticos) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.**

**1. Cadeia de suprimentos (Simulação) 2. Logística (Administração) 3. Controle de estoques I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica II. t.**

Nome: SILVA, Gabriel Rossoni.

Título: Desenvolvimento de um modelo de simulação para avaliação do desempenho de uma cadeia de suprimentos multicamadas do ramo de mineração através da adoção da estratégia colaborativa VMI (Vendor Managed Inventory).

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof Dr. \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof Dr. \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof Dr. \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Dedico esse trabalho a Deus, aos meus pais Edinho e Neuza,  
ao meu irmão Guilherme, à minha namorada Beta  
e a todos amigos e familiares que me ajudaram  
e me apoiaram durante essa caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

A SAMARCO Mineração S. A., por proporcionar apoio e incentivo ao desenvolvimento de seus colaboradores.

Aos Engenheiros (a) Eduardo Moraes Ferreira, Melissa Manger, Alexandre de Andrade Souto, Francisco Gruber, Luiz Henrique Thomaz, Cláudio Siqueira e Sérgio Gonçalves Mileipe por propiciarem as condições necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao engenheiro e amigo Alexandre Font Juliá, agradeço pela dedicação, pelo apoio e pelas horas de sono perdido. Sua grande ajuda neste trabalho foi de fundamental importância para que este desafio fosse cumprido.

À minha namorada, Beta, por seu amor, companhia e principalmente pela paciência demonstrada nos muitos momentos de ausência e especialmente na reta final deste trabalho;

À Escola politécnica da Universidade de São Paulo, pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

Ao professor Dr. Rui Carlos Botter, pela orientação, atenção e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Dr. Samuel Vieira Conceição e à UFMG, pelo apoio e incentivo no início de minha caminhada como mestrando.

Aos professores Dr. Miguel Cezar Santoro e Dr. José Geraldo Vidal Vieira, pelos comentários e sugestões na etapa de qualificação do presente trabalho.

## RESUMO

No presente trabalho é proposto um modelo de simulação de uma cadeia de suprimentos integrada com adoção da estratégia de *VMI (Vendor Managed Inventory)* entre uma empresa do setor de minério de ferro e alguns de seus fornecedores estratégicos. O modelo baseia-se em uma estrutura de avaliação de sistemas *VMI* adaptada de Sarpola *et al.* (2007) em conjunto com as configurações de cadeias de suprimentos propostas por Holmström *et al.* (2003), o que permite medir o desempenho da cadeia de suprimentos segundo 3 níveis de integração. É feita uma revisão bibliográfica dos conceitos da estratégia de *VMI*, políticas de estoque em sistemas integrados, compartilhamento e grau de visibilidade de informações ao longo da cadeia de suprimentos. Os resultados obtidos possibilitam realizar uma análise quantitativa dos benefícios do *VMI*, onde são considerados demanda estocástica, *lead time* aleatório, produtos com características diferentes, compartilhamento de informações, visibilidade parcial da cadeia de suprimentos, lotes variáveis, cálculo dos estoques de segurança considerando informações dos pedidos, demanda real do cliente e erros de previsão.

Palavras-chave: *VMI (vendor managed inventory)*. Cadeia de suprimentos (Simulação). Controle de Estoques. Compartilhamento de informações. Visibilidade parcial de informações.



## **ABSTRACT**

In this paper we proposed a simulation model of an integrated supply chain with the adoption of VMI (Vendor Managed Inventory) strategy between a company of the iron ore and some of its strategic suppliers. The model is based on a framework for evaluating VMI systems adapted from Sarpola et al. (2007) together with the configurations of supply chains proposed by Holmström et al (2003), which measures the performance of the supply chain using 3 levels of integration. It is a literature review of the concepts of the strategy of VMI, inventory policies in integrated systems, sharing and degree of visibility of information throughout the supply chain. The results allowed to perform a quantitative analysis of the benefits of VMI, which are considered as stochastic demand, random lead time, products with different characteristics, information sharing, partial visibility of the supply chain, lots of variables, calculation of safety stocks based on information from client orders, actual customer demand and forecasting errors.

Keywords: VMI (vendor managed inventory). Supply Chain (Simulation). Multi-echelon inventory control. Information sharing. Partial visibility of information.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Formas básicas de colaboração em cadeias de suprimentos. (Holweg et al., 2005) .....	23
Figura 2 - Publicações sobre gerenciamento de inventários (Willians e Tokar, 2008) .....	27
Figura 3 - Curva para planejamento de estoques. (Ballou, 1998) .....	36
Figura 4 - Representação do Fluxo de Produtos e de Informações no QR (Wanke, 2004) .....	53
Figura 5 - Programas SMI e VMI.....	57
Figura 6 - Níveis Máximo e Mínimo desejados.....	64
Figura 7 - Evolução dos Estoques num sistema VMI .....	64
Figura 8 - Modelo de Reposição por Ponto de Pedido. Fonte: Gapski (2003) .....	65
Figura 9 - Modelo de Reposição Periódica. Fonte: Gapski (2003) .....	68
Figura 10 - Modelo de Reposição pela Cobertura Futura. Fonte: Gapski (2003) .....	69
Figura 11 - Motivação para adoção ao VMI .....	76
Figura 12 - Ramo das empresas que adotaram o EDI. Fonte: Prates e Gallão (2007) .....	83
Figura 13 - Porcentagem de adoção do EDI por Estado. Fonte: Prates e Gallão (2007) .....	84
Figura 14 - Estrutura de avaliação de sistemas VMI (Sarpola et al., 2007).....	89
Figura 15 - Processo integrado da produção de pelotas de minério de ferro. Fonte: <a href="http://www.samarco.com.br">www.samarco.com.br</a> (acesso em 18/11/2009) .....	108
Figura 16 - Fluxograma simplificado do processo de pelotização .....	109
Figura 17 - Representação da cadeia de suprimentos estudada .....	110
Figura 18 - Estrutura de avaliação colaborativa .....	115
Figura 19 - Configuração cadeia de suprimentos tipo I .....	118
Figura 20 - Configuração cadeia de suprimentos tipo II .....	119
Figura 21 - Configuração cadeia de suprimentos tipo III .....	121
Figura 22 - Níveis médios de estoques no Cliente para 400 replicações.....	133
Figura 23 - Período Transitório da Simulação ou de Aquecimento .....	135
Figura 24 - Avaliação da estrutura de sistemas VMI do fornecedor A.....	137

Figura 25 - Avaliação da estrutura de sistemas VMI do fornecedor B.....	138
Figura 26 - Avaliação da estrutura de sistemas VMI do fornecedor C .....	139
Figura 27 – Gráfico de contornos da interação entre os consumos dos Produtos A, B e C.....	148
Figura 28 - Custos Produto A.....	159
Figura 29 - Custos Produto B.....	160
Figura 30 - Custos Produto C.....	160
Figura 31 - Efeito Chicote Produto A.....	162
Figura 32 - Efeito Chicote Produto B.....	163
Figura 33 - Efeito Chicote Produto C.....	163
Figura 34 - Configuração da Cadeia segundo avaliação de sistemas VMI .....	164
Figura 35- Configuração proposta para a cadeia estudada .....	165
Figura 38 - Custos totais da cadeia de suprimentos .....	170
Figura 39 - Fluxo de produção dos fornecedores.....	180
Figura 40 - Fluxo do Processamento do pedido do cliente no fornecedor .....	181
Figura 41 - Fluxo do processo do cliente .....	182
Figura 42 - Modelo do Cliente no ARENA.....	185
Figura 43 - Modelo das necessidades de reposição do fornecedor no ARENA.....	186
Figura 44 - Modelo do processo de produção do fornecedor no ARENA.....	187
Figura 45 - Modelo da chegada de pedidos ao fornecedor no ARENA.....	187
Figura 46 - Lógicas Auxiliares do modelo no ARENA .....	189
Figura 47 - Modelo de Animação desenvolvido no ARENA .....	189
Figura 48 - Modelo completo desenvolvido no ARENA.....	190
Figura 49 - Distribuição de probabilidade do consumo específico do produto A.....	191
Figura 50 - Distribuição de probabilidade do consumo específico do produto B.....	191
Figura 51 - Distribuição de probabilidade do consumo específico do produto C.....	192
Figura 52 - Distribuição de probabilidade do lead time do produto A.....	192
Figura 53 - Distribuição de probabilidade do lead time do produto B.....	192
Figura 54 - Distribuição de probabilidade do lead time do produto C.....	193
Figura 55 – Teste de normalidade do consumo específico do produto A.....	194
Figura 56 - Teste de normalidade do consumo específico do produto B .....	194
Figura 57 - Teste de normalidade do consumo específico do produto C .....	195
Figura 58 - Teste de normalidade do lead time do produto A .....	195
Figura 59 - Teste de normalidade do lead time do produto B .....	196

Figura 60 - Teste de normalidade do lead time do produto C .....	196
Figura 61- Testa ANOVA Produto A cadeia tipo I .....	197
Figura 62- Testa ANOVA Produto B cadeia tipo I .....	198
Figura 63- Teste ANOVA Produto B cadeia tipo I .....	199
Figura 64- Teste ANOVA Produto C cadeia tipo I .....	200
Figura 65- Teste T-Student Produto A cadeia tipo II .....	201
Figura 66- Teste T-Student Produto B cadeia tipo II .....	201
Figura 67- Teste T-Student Produto C cadeia tipo II .....	201
Figura 68- Teste T-Student Produto A cadeia tipo III .....	202
Figura 69- Teste T-Student Produto B cadeia tipo III .....	202
Figura 70- Teste T-Student Produto C cadeia tipo III .....	202
Figura 71 - Estoque Fornecedor Produto A.....	203
Figura 72 - Estoque Cliente Produto A.....	203
Figura 73 - Estoque Trânsito Produto A .....	203
Figura 74 - Estoque do produto B, no fornecedor para cadeia tipo I.....	204
Figura 75 - Estoque do produto B, no cliente para cadeia tipo I.....	204
Figura 76 - Estoque em trânsito do produto B para cadeia tipo I .....	204
Figura 77 - Estoque do produto C no fornecedor para cadeia tipo I.....	205
Figura 78 - Estoque do produto C no cliente para cadeia tipo I.....	205
Figura 79 - Estoque em trânsito do produto C para cadeia tipo I .....	205
Figura 80 - Estoque do produto A no fornecedor para cadeia tipo II.....	206
Figura 81 - Estoque do produto A no cliente para cadeia tipo II.....	206
Figura 82 - Estoque em trânsito do produto A para cadeia tipo II .....	206
Figura 83 -Estoque do produto B no fornecedor para cadeia tipo II .....	207
Figura 84 - Estoque do produto B no cliente para cadeia tipo II.....	207
Figura 85 - Estoque em trânsito do produto B para cadeia tipo II .....	207
Figura 86 - Estoque do produto C no fornecedor para cadeia tipo II.....	208
Figura 87 - Estoque do produto C no cliente para cadeia tipo II.....	208
Figura 88 - Estoque em trânsito do produto C para cadeia tipo II .....	208
Figura 89 - Estoque do produto A no fornecedor para cadeia tipo III .....	209
Figura 90 - Estoque do produto A no cliente para cadeia tipo III.....	209
Figura 91 - Estoque em trânsito do produto A para cadeia tipo III .....	209
Figura 92 - Estoque do produto B no fornecedor para cadeia tipo III.....	210
Figura 93 - Estoque do produto B no cliente para cadeia tipo III.....	210

Figura 94 - Estoque em trânsito do produto B para cadeia tipo III .....	210
Figura 95 - Estoque do produto C no fornecedor para cadeia tipo III.....	211
Figura 96 - Estoque do produto C no cliente para cadeia tipo III.....	211
Figura 97 - Estoque em trânsito do produto C para cadeia tipo III .....	211
Figura 98 - Estoque do produto A no fornecedor para cadeia tipo III com previsão melhorada .....	212
Figura 99 - Estoque do produto A no cliente para cadeia tipo III com previsão melhorada .....	212
Figura 100 - Estoque em trânsito do produto A para cadeia tipo III com previsão melhorada .....	212
Figura 101 - Estoque do produto B no fornecedor para cadeia tipo III com previsão melhorada .....	213
Figura 102 - Estoque do produto B no cliente para cadeia tipo III com previsão melhorada .....	213
Figura 103 - Estoque em trânsito do produto B para cadeia tipo III com previsão melhorada .....	213
Figura 104 - Estoque do produto C no fornecedor para cadeia tipo III com previsão melhorada .....	214
Figura 105 - Estoque do produto C no cliente para cadeia tipo III com previsão melhorada .....	214
Figura 106 - Estoque em trânsito do produto C para cadeia tipo III com previsão melhorada .....	214
Figura 107 - Estoque do produto A no fornecedor para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente .....	215
Figura 108 - Estoque do produto A no cliente para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente .....	215
Figura 109 - Estoque em trânsito do produto A para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente .....	215
Figura 110 - Estoque do produto B no fornecedor para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente .....	216
Figura 111 - Estoque do produto B no cliente para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente .....	216
Figura 112 - Estoque em trânsito do produto B para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente .....	216

Figura 113 - Estoque do produto C no fornecedor para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente .....	217
Figura 114 - Estoque do produto C no cliente para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente .....	217
Figura 115 - Estoque em trânsito do produto C para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente .....	217

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Estoque (Ballou, 2001 - Robeson et al., 1994) .....	31
Tabela 2 - Características dos Programas de Resposta Rápida (PRR), adaptado de Wanke (2004).....	55
Tabela 3 - Principais publicações sobre VMI. Adaptado de Willians e Tokar (2008).	59
Tabela 4 - Fatores críticos, barreiras, sucesso e fracasso em implementações VMI	78
Tabela 5 - Elementos para diferenciação de sistemas VMI .....	89
Tabela 6 - Configurações de cadeias de Suprimentos (Holmström et al., 2003).....	91
Tabela 7- Procedimentos Estatísticos para validação de modelos .....	130
Tabela 8 - Definição do número de replicações .....	133
Tabela 9 - Características do Cenário I.....	140
Tabela 10 - Características do Cenário II.....	141
Tabela 11 - Características do Cenário III.....	142
Tabela 12 - Características Cenário IV .....	143
Tabela 13 - Distribuição de Probabilidade - Consumo e Lead Time .....	144
Tabela 14- Coeficiente de Variação dos Produtos .....	145
Tabela 15 -Estoque Iniciais para cada Produto.....	146
Tabela 16 - Dados determinísticos do modelo .....	147
Tabela 17 - Correlação Produtos A, B e C .....	148
Tabela 18 - Cenários utilizados para comparação de médias (ANOVA e T-Student) .....	149
Tabela 19 - Resultados Produto A .....	151
Tabela 20 – Redução de Inventário no cliente – Produto A .....	152
Tabela 21 – Redução de Inventário no fornecedor – Produto A.....	153
Tabela 22 - Desvio Padrão ES - Produto A.....	154
Tabela 23 - Resultados Produto B .....	154
Tabela 24 - Desvio Padrão ES - Produto B.....	155
Tabela 25 - Desvio Padrão ES - Produto B.....	155
Tabela 26 - Desvio Padrão ES - Produto B.....	156
Tabela 27 - Resultados Produto C .....	156
Tabela 28 - Resultados Produto C .....	157

Tabela 29 - Resultados Produto C .....	157
Tabela 30 - Desvio Padrão ES - Produto C.....	158
Tabela 31 - Efeito Chicote dos Produtos A, B e C.....	162



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>20</b>
1.1. OBJETIVOS.....	25
1.1.1 <i>Objetivos gerais</i> .....	25
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	25
1.2 JUSTIFICATIVA.....	26
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	29
<b>2. CONCEITOS RELACIONADOS À GESTÃO DA DEMANDA E CONTROLE DE ESTOQUES</b> .....	<b>30</b>
2.1. OBJETIVOS DOS ESTOQUES .....	30
2.2. CUSTOS LOGÍSTICOS .....	32
2.3. CONTROLE DO NÍVEL DE SERVIÇO .....	34
2.4. DILEMA: CUSTOS DE ESTOQUES X NÍVEL DE SERVIÇO .....	35
2.5. POLÍTICAS DE CONTROLE DE ESTOQUES.....	37
2.6. GESTÃO DA DEMANDA.....	39
2.7. GERENCIAMENTO DA INCERTEZA NA DEMANDA: ESTOQUE DE SEGURANÇA.....	41
2.8. PLANEJAMENTO DA GESTÃO DA DEMANDA INDEPENDENTE: TÉCNICAS DE PREVISÃO .....	42
2.9. TÉCNICAS DE PREVISÃO.....	44
2.9.1 <i>Métodos Qualitativos</i> .....	44
2.9.2 <i>Métodos por Projeção Histórica</i> .....	45
2.9.3 <i>Métodos Causais</i> .....	46
2.10. MEDIDAS DE ERROS DAS PREVISÕES.....	47
2.11. PLANEJAMENTO DA GESTÃO DA DEMANDA DEPENDENTE: <i>MRP (MATERIAL REQUERIMENTS PLANNING)</i> .....	48
<b>3. CONCEITOS RELACIONADOS AO VMI</b> .....	<b>50</b>
3.1. REPOSIÇÃO CONTÍNUA DOS ESTOQUES .....	50
3.2. PROGRAMAS DE RESPOSTA RÁPIDA.....	52

3.3.	CARACTERÍSTICAS DO VMI – VENDOR MANAGED INVENTORY.....	57
3.3.1	<i>Dinâmica de Funcionamento e Parâmetros do sistema VMI.....</i>	63
3.3.2	<i>Modelo Orientativo de Implantação do VMI.....</i>	70
3.4.	FATORES CRÍTICOS, BARREIRAS, SUCESSO E FRACASSO EM IMPLEMENTAÇÕES VMI (VANTAGENS E DESVANTAGENS).....	73
3.5.	COMPARTILHAMENTO DE INFORMAÇÕES.....	79
3.5.1	<i>O Papel da TI no compartilhamento de informações.....</i>	82
3.6.	EFEITO DO AUMENTO DA VISIBILIDADE EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS .....	85
3.7.	ESTRUTURA PARA AVALIAÇÃO DE PARCEIROS E CONFIGURAÇÕES DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS INTEGRADAS.....	87
3.7.1.	<i>Artigo: "Framework for Characterizing the Design of VMI Systems" (Sarpola et al., 2007).....</i>	88
3.7.2.	<i>Artigo: Collaborative supply chain configurations: The implications for supplier performance in production and inventory control (Holmström et al., 2003) 90</i>	
<b>4.</b>	<b>APLICAÇÃO DE POLÍTICAS DE ESTOQUES NA MODELAGEM DE CADEIA DE SUPRIMENTOS INTEGRADAS .....</b>	<b>93</b>
4.7.	MODELOS MATEMÁTICOS (QUANTITATIVOS).....	93
4.8.	MODELOS DE SIMULAÇÃO .....	96
4.8.1.	<i>Modelagem do VMI através da teoria de controle .....</i>	97
4.8.2.	<i>Modelagem do VMI através do uso da simulação a eventos discretos ...</i>	98
4.9.	ESCOLHA DA ABORDAGEM PARA DESENVOLVIMENTO DO MODELO 100	
4.10.	METODOLOGIA DE PESQUISA .....	102
<b>5.</b>	<b>CASO DE ESTUDO E APRESENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO ...</b>	<b>107</b>
5.1.	INFORMAÇÕES SOBRE O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO .....	107
5.2.	ESPECIFICIDADES DA CADEIA DE SUPRIMENTOS ESTUDADA.....	110
5.3.	ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO PARA SISTEMAS VMI.....	111
5.3.1.	<i>Configuração Cadeia tipo I.....</i>	116
5.3.2.	<i>Configuração Cadeia tipo II.....</i>	119
5.3.3.	<i>Configuração Cadeia tipo III.....</i>	120

5.4.	APRESENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO .....	122
5.4.1.	<i>Pressupostos do modelo</i> .....	123
5.4.2.	<i>Definição das variáveis de decisão</i> .....	125
5.4.3.	<i>Modelo de custos</i> .....	125
5.5.	VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO .....	127
5.5.1.	<i>Verificação</i> .....	128
5.5.2.	<i>Validação</i> .....	130
5.5.3.	<i>Número de Replicações</i> .....	132
5.5.4.	<i>Tamanho das Corridas de Simulação</i> .....	134
5.5.5.	<i>Período Transitório da Simulação ou de Aquecimento</i> .....	134
5.6.	EXPERIMENTAÇÃO – CENÁRIOS SIMULADOS .....	136
5.6.1.	<i>Aplicação da estrutura de avaliação de sistemas VMI</i> .....	137
5.6.2.	<i>Experimento</i> .....	139
5.6.3.	<i>Cenário I</i> .....	140
5.6.4.	<i>Cenário II</i> .....	141
5.6.5.	<i>Cenário III</i> .....	142
5.6.6.	<i>Cenário IV</i> .....	142
5.7.	APLICAÇÃO DO MODELO.....	143
5.7.1.	<i>Protocolo de coleta de dados</i> .....	143
5.7.2.	<i>Análise de correlação das demandas</i> .....	148
<b>6.</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>150</b>
6.1.	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO.....	151
6.1.1.	<i>Resultados Produto A</i> .....	151
6.1.2.	<i>Resultados Produto B</i> .....	154
6.1.3.	<i>Resultados Produto C</i> .....	156
6.1.4.	<i>Análise de Custos</i> .....	158
6.1.5.	<i>Efeito Chicote</i> .....	161
6.1.6.	<i>Configuração proposta pela estrutura de avaliação colaborativa</i> .....	163
6.1.7.	<i>Configuração proposta para a cadeia de suprimentos</i> .....	165
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>167</b>
7.1.	ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO DE SISTEMAS VMI.....	167
7.2.	DESEMPENHO DO SISTEMA: NÍVEIS DE INVENTÁRIO, NÍVEL DE SERVIÇO E CUSTOS .....	168

7.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	170
7.4. TRABALHOS FUTUROS .....	171
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>173</b>
<b>ANEXO A - FLUXOS DO MODELO .....</b>	<b>180</b>
<b>ANEXO B - DESCRIÇÃO DO MODELO NO SOFTWARE ARENA.....</b>	<b>183</b>
<b>ANEXO C - DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE .....</b>	<b>191</b>
<b>ANEXO D - TESTES DE NORMALIDADE .....</b>	<b>194</b>
<b>ANEXO E - TESTES ANOVA E T-STUDENT.....</b>	<b>197</b>
<b>ANEXO F - GRÁFICOS .....</b>	<b>203</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de transporte de insumos e de produtos desde o momento em que são extraídos e processados, gerando os produtos acabados até que os mesmos sejam consumidos acontece desde os primórdios das sociedades organizadas, sejam eles industrializados ou não. Esse processo de troca pode ser considerado a base das atividades econômicas, sendo que o conjunto de organizações, atividades, pessoas, recursos e informações que possibilitam a movimentação de materiais e serviços, sejam eles físicos ou virtuais, dos fornecedores até os consumidores, representa o que atualmente a literatura conhece como uma cadeia de suprimentos (Bergval; Björkman, 2006). Ou seja, o termo “Cadeia de Suprimento” destina-se a designar a estrutura projetada de forma adequada para atender à demanda de um mercado específico (Slack, 2002).

Nas últimas décadas o conceito de cadeia de suprimentos vem se popularizando cada vez mais, sendo discutido por diversos autores, tais como: Ballou (2001), Bowersox e Closs (2001), Ganeshan *et al.* (2000), Garvineni *et al.* (1998), Moinzadeh e Aggarwal (1997), Cachon e Fisher (1997), Simchi-Levi *et al.* (2003), Jonsson e Mattson (2005) e outros. A aplicação de conceitos logísticos em cadeias de suprimentos é atualmente um grande desafio para as empresas. O sucesso do gerenciamento logístico agrega valor de lugar, tempo, qualidade e informações da cadeia produtiva e auxilia na eliminação de processos que não agregam valor, tornando-se vantagem competitiva para o negócio (Bowersox; Closs, 2001). Ao se fazer uma análise histórica da logística, identifica-se, segundo Novaes (2001), que a mesma pode ser dividida em quatro fases: segmentada, rígida, flexível e estratégica. O autor argumenta que nas três primeiras fases, a integração da cadeia era feita basicamente por meio físicos e operacionais e que na quarta fase ocorre uma evolução qualitativa significativa, onde a logística passa a ser tratada de forma estratégica, através da busca de novas soluções para ganhar competitividade e induzir novos negócios. É nessa fase que surge uma nova concepção no tratamento de problemas logísticos, conhecida como Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS).

Ganeshan *et al.* (2000) opinam que o GCS é fator diretivo na elaboração da estratégia e uma maneira eficiente de gerar valor para os clientes. Ao se integrar a cadeia de suprimentos, consegue-se fazer com que a mesma opere de maneira coordenada e sincronizada, atingindo maiores níveis de serviços aos clientes e redução de custos. Simchi-Levi *et al.* (2003) definem o GCS como:

*[...] um conjunto de abordagens utilizadas para integrar eficientemente fornecedores, fabricantes, depósitos e armazéns, de forma que a mercadoria seja produzida e distribuída na quantidade certa, para a localização certa e no tempo certo, de forma a minimizar os custos globais do sistema ao mesmo tempo em que atinge o nível de serviço desejado."*

Segundo os mesmos autores, o GCS gira em torno da integração eficiente entre fornecedores, fabricantes, depósitos e armazéns, abrangendo decisões desde níveis estratégicos e táticos até operacionais. Para que se obtenha sucesso no processo de integração da cadeia de suprimentos, deve atentar para quebras de paradigmas tradicionais que levam à necessidade das seguintes transições de modelos e pensamentos (Neuman; Christopher, 1996):

- De serviço ao cliente para gerenciamento de relacionamentos;
- De adversário para comportamento colaborativo;
- De demanda separada para gestão de demanda colaborativa;
- De informação escondida para informação compartilhada.

No processo tradicional, as empresas gerenciam seus negócios de forma independente e buscam primordialmente atingir o menor preço possível nas negociações. O resultado desse modelo é a redução de custos no curto prazo, porém com aumentos de custos no longo prazo, devido à baixa confiabilidade de qualidade e entrega dos fornecedores que venciam as concorrências. Na visão de integração, o GCS supera as fronteiras da empresa, buscando atingir operações ágeis com o menor custo total possível, visando sempre atender as necessidades dos clientes.

A integração necessária para as cadeias de suprimentos pode ser viabilizada de diversas maneiras, englobando práticas como adoção de logística terceirizada,

integração do distribuidor, formação de alianças estratégicas, parcerias varejista-fornecedor e colaboração.

Dentre as formas de integração citadas, destaca-se para os fins deste trabalho a formação de parcerias varejista-fornecedor, mais especificamente a parceria *VMI (Vendor Managed Inventory)*, que será estudada através da aplicação de um modelo de simulação de uma cadeia de suprimentos do setor de minério de ferro. O *VMI* é considerado um conceito no qual o fornecedor passa a ser responsável pelas decisões de reabastecimento baseado nas informações disponibilizadas pelo comprador (Simchi-Levi *et al.*, 2003; Holmström *et al.*, 2009), sendo aplicado com o intuito de melhorar a produtividade de cadeias de suprimentos e cujo modelo é baseado nas necessidades do cliente (Reddy; Vrat, 2007).

As parcerias varejista-fornecedor podem ser consideradas como a base para implantação de parcerias colaborativas mais complexas. Como argumento para justificar a afirmação anterior, pode-se citar Barrat (2004) e Whipple e Russel, (2007), que citam o surgimento da colaboração em cadeias de suprimentos efetivamente em meados da década de 1990, através do *CPFR (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment)*, mas que anteriormente algumas organizações já haviam implementado parcerias em formas menos avançadas, tais como o *CRP (Continuous Replenishment Programs)*, *VMI (Vendor Managed Inventory)*, *ECR (Efficient Consumer Response)*, transporte colaborativo e projetos colaborativos (incluindo a inserção de novos produtos), etc. Esses tipos de parcerias, situadas no lado a montante da cadeia de suprimentos, são consideradas por Barrat (2004) como uma parte do escopo de uma colaboração total, estando incluídas na categoria de colaboração vertical. As parcerias citadas são classificadas como uma forma de colaboração externa com fornecedores, conhecida como *Supplier Relationship Management (SRM)* ou Gerenciamento de Relacionamento com Fornecedores.

Para Holweg *et al.* (2005), a colaboração em cadeias de suprimentos vem em uma ampla variedade de formas, mas em geral, têm um objetivo comum: criar um sistema transparente, com um padrão de demanda visível a todos elos da cadeia de suprimentos. Segundo os mesmos autores, os conceitos de colaboração em cadeias de suprimentos não são tão bem definidos como deveriam ser e suas definições acabam sendo usadas indistintamente. Como um forma de alinhar esses conceitos, (Holweg *et al.*, 2005), identificaram quatro forma diferentes de colaboração em

cadeias de suprimentos, distinguidas pela forma como é realizado o controle de estoque e como é feito o planejamento colaborativo da demanda. Essas 4 formas são apresentadas na figura 01 e descritas resumidamente em seguida.

<b>Planejamento Colaborativo</b>	Sim	<b>Tipo 1</b> Troca de Informações	<b>Tipo 3</b> Cadeia Sincronizada
	Não	<b>Tipo 0</b> Cadeia Tradicional	<b>Tipo 2</b> Reabastecimento gerenciado pelo fornecedor
		Não	Sim
<b>Inventário Colaborativo</b>			

**Figura 1 - Formas básicas de colaboração em cadeias de suprimentos. (Holweg et al., 2005)**

- **Tipo 0 – Cadeia Tradicional:** Cada membro da cadeia programa suas ordens de produção e reposição de estoque sem considerar a situação dos outros integrantes, quer para cima ou níveis a jusante da cadeia de abastecimento. Isto é como a maioria das cadeias ainda opera, sem nenhuma colaboração formal entre o varejista e o fornecedor.
- **Tipo 1 – Troca de Informações:** O varejista e o fornecedor ainda enviam ordens de forma independente, mas procuram trocar informações e planos de ação a fim de alinhar suas previsões de capacidade e de planejamento de longo prazo.
- **Tipo 2 – Reabastecimento gerenciado pelo fornecedor:** A tarefa de gerar a ordem de reposição é dada ao fornecedor, mantendo os níveis de inventários entre limites estabelecidos com o cliente.
- **Tipo 3 – Cadeia Sincronizada:** Une informações da produção e planejamento de materiais do fornecedor para tomar a decisão do reabastecimento. O fornecedor se encarrega da reposição de estoque do cliente no nível operacional, e usa essa visibilidade no planejamento de suas operações de abastecimento e distribuição.



O *VMI*, objeto de estudo desse trabalho encaixa-se no tipo de cadeia 2, sendo considerado aqui como um sistema de gerenciamento de inventários colaborativo. Estudos de colaboração mais avançados não serão tratados no presente trabalho, por não ser característica da cadeia estudada e por ser um termo muito amplo e abrangente. Segundo Barrat (2004), estudos de colaboração vão muito além das proposições feitas por muitos autores, que consideram o alcance de benefícios mútuos, o compartilhamento de ganhos e riscos e a troca de informações como as bases que fundamentam a colaboração. Para que se entenda a fundo a colaboração, devem-se considerar aspectos tais como: por que as empresas precisam colaborar? Onde e com quem as empresas devem colaborar? Sobre quais atividades os parceiros precisam colaborar? E quais são os elementos de colaboração? Exemplos de estudos de colaboração em cadeias de suprimentos podem ser verificados em Vieira, (Yoshizaki; Ho, 2009), que estudam a intensidade da colaboração na cadeia varejista de supermercados no Brasil, e (Klemencic, 2006), que aborda um estudo de caso de implantação de um projeto estratégico de colaboração na empresa Danfoss.

Como citado anteriormente, o estudo proposto será conduzido considerando a aplicação da parceria *VMI (Vendor Managed Inventory)* a parte à montante de uma cadeia de suprimentos do ramo de minério de ferro, que atualmente possui baixo nível de integração com seus fornecedores. A empresa estudada atua no mercado de minério de ferro, estando posicionada como a segunda maior exportadora desse tipo de produto no Brasil. Seu mercado fornecedor é composto por empresas em várias localidades no país e também no exterior.

De acordo com o grau de confiança, formato e tipo de informações compartilhadas, compatibilidade tecnológica entre os parceiros, além de aspectos logísticos pertinentes a cada integrante, são possíveis diferentes formas de implementação de um sistema *VMI*. Dessa forma, a pesquisa é conduzida através da elaboração de um modelo representando a forma de operação atual da cadeia estudada, ou seja, onde não existe a adoção do *VMI*. Esse modelo servirá como base de comparação. Depois é definida uma estrutura de avaliação dos integrantes da cadeia. Tal estrutura é composta por elementos e dimensões que permitem estabelecer qual nível de complexidade do *VMI* cada integrante pode atuar, caso um sistema *VMI* seja implementado, sem que sejam necessários grandes esforços de

ambas as partes. Por fim, é feita uma análise considerando nível máximo de adoção do *VMI* na cadeia, onde avalia-se se é vantajoso realizar investimentos na cadeia de suprimentos que sejam compensados pelos benefícios advindos de um nível de *VMI* mais avançado.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivos gerais**

- Estudar o gerenciamento de inventários colaborativo por meio da estratégia *VMI (Vendor Managed Inventory)*, identificando suas principais características, parâmetros de operação, lacunas na literatura e fatores críticos para sua implementação.
- Propor uma estrutura de avaliação de sistemas *VMI* que auxilie na definição dos níveis de integração para cada fornecedor da cadeia de suprimentos estudada.
- Desenvolver um modelo de simulação para avaliação do desempenho da rede de fornecimento de insumos de um fabricante de pelotas de minério de ferro, considerando aspectos de integração da cadeia de suprimentos através da adoção do *VMI*.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

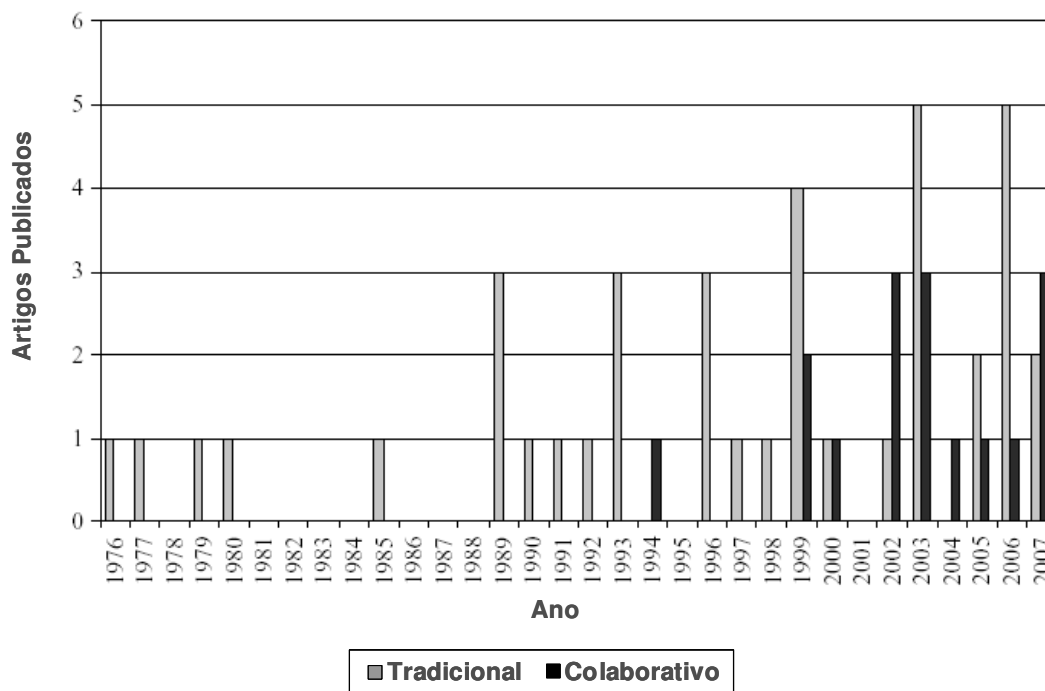
- Definir como é feito o controle de estoques no *VMI*. A partir do controle, estabelecer quais variáveis são relevantes para o controle de eficiência da cadeia de suprimentos estudada.

- Identificar na literatura os principais aspectos relacionados ao compartilhamento de informações, visibilidade parcial em cadeias de suprimentos e integração em cadeias de suprimentos.
- Utilizar a estrutura de avaliação de sistemas VMI adaptada de Sarpola *et al.* (2007) em conjunto com as configurações de cadeias de suprimentos propostas por Holmström *et al.* (2003) para medir o desempenho da cadeia de suprimentos segundo 3 níveis de integração.
- Medir a utilização do modelo e avaliar o comportamento e resultados obtidos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas, as pesquisas em logística focadas em Gerenciamento de Estoques podem ser divididas em 2 temas principais: integração de decisões logísticas tradicionais (transporte, armazéns, etc) através de modelos de controle de estoques tradicionais. Mais recentemente, as pesquisas têm se direcionado para modelos colaborativos de gerenciamento de estoques (Willians; Tokar, 2008), tais como *CRP*, *ECR*, *QR* e *VMI*.

Willians e Tokar (2008) fizeram uma revisão das pesquisas sobre Gerenciamento de Estoques publicados nos principais jornais de logística nos últimos 32 anos, mostrando que a literatura logística focada em colaboração no gerenciamento de inventários vem crescendo rapidamente a partir de 1994. Observa-se na figura 02, que a partir de 1994, 17 publicações focam explicitamente ao menos um modelo de gerenciamento de inventários colaborativo. A maioria das publicações se propõe a entender os fatores determinantes para o sucesso de práticas colaborativas (Dong *et al.*, 2007; Perry; Sohal, 2000; Waller *et al.*, 1999; Whipple *et al.*, 1999) e quais os benefícios desses programas para cada um dos integrantes da cadeia de suprimentos (Dong; Xu, 2002; Pohlen; Goldsby, 2003; Sári, 2007; Yao; Dresner, 2008; Cheng *et al.*, 2001).



**Figura 2 - Publicações sobre gerenciamento de inventários (Willians e Tokar, 2008)**

Segundo o estudo de Willians e Tokar (2008), as seguintes lacunas são identificadas na literatura referentes a estudos em Logística:

- Integração logística em ambientes colaborativos (incorporar atividades logísticas adicionais, tais como transporte e armazenamento, aos modelos de gerenciamento de inventários colaborativos)
- Coordenação e colaboração em cadeias de suprimentos
- Incertezas na demanda (modelos colaborativos são baseados em troca de informações e requerem análise com demanda estocástica) e tratamento de rupturas em sistemas colaborativos (pressupostos simples de demanda postergada ou vendas perdidas podem não ser adequados nos casos de modelos em ambientes colaborativos).
- Modelos de reposição de inventário híbridos onde ambos os modelos, de ponto de reposição (Q,r) e revisão contínua (S,T), são utilizados.
- Modelos de inventário que considerem os estoques nos varejistas não apenas em um único ponto, mas em múltiplas localizações, como em prateleiras e no estoque próprio (backroom).
- Estudos de casos e empíricos para avaliar como as informações disponíveis afetam as tomadas de decisões e agregam valor para os acionistas.

- Entendimento das relações entre as partes da cadeia de suprimentos a partir de estruturas e/ou tipologias colaborativas para gerenciamento de inventários. (utilizar tipologias/estruturas colaborativas para avaliar e comparar o desempenho de sistemas colaborativos de acordo com vários níveis/tipos de relações colaborativas).
- Incorporar aspectos comportamentais em modelos existentes ou novos, visto o alto grau de influência humana no julgamento e tomada de decisões presentes no gerenciamento de inventários.

Baseado nas lacunas apontadas por Willians e Tokar (2008) e na literatura revisada, podemos apontar os seguintes pontos que sustentam a realização do presente trabalho:

1. O estudo justifica-se principalmente devido à crescente exigência por redução de custos e melhorias nos níveis de serviço tanto para os fornecedores quanto para os clientes. Ambientes cada vez mais competitivos têm motivado cada vez mais as empresas buscarem ganhos através da integração da cadeia de suprimentos. Dessa forma, a adoção por partes das empresas de modelos de integração, cujo princípio é o estreitamento do relacionamento entre as empresas integrantes da cadeia, se torna cada vez mais necessária.
2. As lacunas identificadas na literatura apontam para a necessidade de estudos de cooperação e colaboração em cadeias de suprimentos em indústrias diferentes das tradicionalmente estudadas: supermercadistas, automobilísticas e eletroeletrônicas.
3. No caso específico do ramo de minério de ferro, não foram identificados na literatura, estudos que analisem o esforço das empresas no sentido de integrar suas cadeias de suprimentos, através da adoção de práticas de relações colaborativas tais como o *VMI*.
4. A maioria das pesquisas sobre colaboração em cadeias de suprimentos considera que todas as informações estão disponíveis e todos os parceiros estão aptos a colaborar em qualquer nível de complexidade de cooperação (Thron *et al.*, 2006). O presente trabalho define, através do entendimento das relações entre as partes da cadeia de suprimentos, uma estrutura colaborativa para gerenciamento de inventários, que permite avaliar e

comparar o desempenho de sistemas *VMI* de acordo com vários níveis de relações colaborativas.

5. A maioria das pesquisas sobre colaboração e visibilidade parcial da cadeia de suprimentos, focam na relação entre apenas um fornecedor e um cliente. No trabalho, trata-se a disponibilização parcial de informações e múltiplos fornecedores e produtos.
6. O estudo permitirá identificar e quantificar os benefícios da adoção do *VMI* através do uso da simulação em conjunto com o trabalho proposto por Sarpola (2007) e propiciará um melhor entendimento do processo logístico.
7. A ferramenta de simulação desenvolvida serve como suporte gerencial para tomada de decisão em relação ao nível de integração desejado na cadeia de suprimentos, além de permitir identificar potenciais reduções de custos para ambos fornecedores e fabricante.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

O trabalho foi dividido de acordo com a seguinte estrutura: No capítulo 1 são apresentados os objetivos e justificativas do estudo. O capítulo 2 revisa os principais conceitos relacionados ao gerenciamento da demanda e controle de estoques. No capítulo 3 é feita a introdução do tema, revisão bibliográfica dos principais conceitos relacionados à teoria de sistemas *VMI*, compartilhamento de informações e visibilidade na cadeia de suprimentos. Trata-se no capítulo 4 dos principais estudos relacionados a gerenciamento de estoques colaborativos e define-se a abordagem e metodologia de pesquisa para desenvolvimento do trabalho. No capítulo 5, é descrita a cadeia de suprimentos estudada, proposta a estrutura de avaliação de sistemas *VMI* e o modelo de simulação desenvolvidos. O capítulo 6 discute os resultados obtidos em relação aos níveis de inventário, custos e Efeito Chicote. Por fim, o capítulo 7 apresenta as conclusões e as sugestões de trabalhos futuros.

## **2. CONCEITOS RELACIONADOS À GESTÃO DA DEMANDA E CONTROLE DE ESTOQUES**

Neste capítulo serão apresentados conceitos relacionados à demanda, gerenciamento e controle de estoques e níveis de serviço, cujo entendimento é de fundamental importância para o desenvolvimento da pesquisa.

### **2.1. OBJETIVOS DOS ESTOQUES**

Os estoques são materiais, seja em forma de matéria-prima, produtos semi-acabados, produtos acabados, peças e sobressalentes, que podem ser vendidos aos clientes ou para atendimento ao processo produtivo das próprias empresas. Os estoques de matérias-primas servem para regular diferentes taxas de suprimento (pelo fornecedor) e de demanda (pelo processo de transformação), enquanto que os estoques de material semi-acabado buscam regular diferentes taxas de produção entre dois equipamentos subsequentes. Em relação aos produtos acabados, a necessidade de estoques regula diferenças entre as taxas de produção e de demanda do mercado. Por fim, peças e sobressalentes são armazenadas como forma de garantia operacional, no caso de quebra ou falhas nos equipamentos.

Existem várias razões para realizar o armazenamento de produtos, esteja ele em qualquer um dos estados de produção citados. Os estoques são necessários para que os processos de produção e distribuição possam ocorrer. (Ballou, 2001) apresenta quatro justificativas para a necessidade de estoques: reduzir custos de transporte e produção, coordenar oferta e demanda, auxiliar no processo de produção e para ajudar no processo de marketing. Correa *et al.* (1999) incluem as incertezas de previsões no suprimento ou demanda e a necessidade de preenchimento dos canais de distribuição como razões para o surgimento e manutenção de estoques.

De acordo com a situação, a formação de estoques aparece ao longo da cadeia de suprimentos devido a motivos diferentes. Na tabela 01, estão

apresentadas as classificações e definições de cada tipo de estoque, de acordo com Ballou (2001) e Robeson *et al.* (1994):

**Tabela 1 - Tipos de Estoque (Ballou, 2001 - Robeson *et al.*, 1994)**

<b>Tipo de Estoque</b>	<b>Motivo do estoque</b>	<b>Definição</b>
Estoque no Canal	Tempo de transporte	São os estoques em trânsito entre os pontos de estocagem ou de produção.
Estoque especulativo	Especulação	São estoques mantidos motivados por especulação de preços ou para satisfazer exigências de operação, como vendas sazonais ou antecipação de compras.
Estoque de ciclo	Produção/Transporte em lotes	Necessário para satisfazer a demanda média durante o tempo entre reabastecimentos sucessivos.
Estoque de Segurança	Incertezas na demanda	Servem como proteção da variabilidade na demanda para o estoque e no tempo de reabastecimento.
Estoque Obsoleto	Obsolescência	Parte do estoque que deteriora, tem a validade vencida, é tecnologicamente ultrapassado, é extraviado ou perdido.

Independente do motivo ou razão para a formação de estoques fica cada vez mais claro para as empresas a necessidade de atender na hora certa, na quantidade certa e com a qualidade desejada, para que consigam diferenciar-se de seus concorrentes aos olhos do cliente. Além dos aspectos relativos ao atendimento dos clientes, para obterem vantagem competitiva, as empresas devem possuir capacidade de operar a baixo custo e, portanto, com lucro maior (Christopher, 1999). A existência de estoques, desde que bem gerenciados, pode auxiliar na melhora dos níveis de serviço, obtenção de economias de escala na produção, em compras e no transporte, proteção contra incertezas e até mesmo contra situações adversas tais como greves ou incêndios (Ballou, 1993). Porém, a má administração dos estoques



ocasiona elevação dos custos logísticos e insatisfação dos clientes pela baixa qualidade no atendimento, de forma que o gerenciamento de inventários passa a assumir um papel preponderante na obtenção de vantagem competitiva para as organizações. Nas próximas seções serão abordados assuntos relativos aos custos de estoques, controle de estoques, políticas de gestão de estoques, gestão e planejamento da demanda, que são de fundamental importância para o entendimento e estabelecimento de estratégias que possibilitem o correto gerenciamento dos estoques.

## 2.2. CUSTOS LOGÍSTICOS

Os custos logísticos são muito significativos para as empresas e podem ser aplicados na avaliação de seus resultados, além de servirem como apoio para tomada de decisões relacionadas à estratégia do negócio. Nesse sentido, operar com baixo custo logístico é fator determinante para a busca de vantagem competitiva que tanto as organizações almejam hoje em dia.

Para que a operação logística de uma cadeia de suprimentos seja de baixo custo, não se deve considerar cada elo individualmente, mas deve-se buscar compreender de que forma cada elo agrega valor à cadeia logística. Ao reduzir o custo isolado de um elo, não resulta na redução ou mesmo a otimização do custo total. De acordo com Bio *et al.* (2002), “O cerne dessa otimização está nos *trade-offs* logísticos, substituições ou troca compensatórias de um elemento de custo/atividade por outro da cadeia de suprimento”. Essa afirmação sustenta a importância de se realizar a integração de todos os elos da cadeia para a redução de custos. A redução dos custos logísticos é mais facilmente alcançada através do entendimento dos elementos fundamentais desses custos para a integração em cadeias de suprimentos. Tais elementos são definidos por Bio *et al.* (2002):

- Custos de Vendas Perdidas – Custos devido à falta do produto, problemas nos prazos de entrega ou outras falhas. Caso uma mercadoria seja devolvida, o responsável pela área disponibiliza determinado tempo com retrabalho, acarretando desperdício e ineficiência no nível de serviço.

- Custos de Lotes – São os custos de preparação de produção, movimentação, programação e expedição de materiais e capacidade perdida na mudança das máquinas. Lotes grandes podem ocasionar falhas diversas como: produção inadequada; ineficiência devido a quebra de máquinas; ineficiência no planejamento de produção etc.
- Custos de Embalagem – Corresponde ao acondicionamento do produto para sua distribuição aos clientes, facilitando o manuseio e a armazenagem, além de promover melhor utilização do transporte.
- Custos de Armazenagem – São custos necessários à armazenagem física dos produtos de maneira adequada. São exemplos os custos fixos das instalações (aluguéis, taxas), aquisição de paletes, custo com pessoal do armazém, iluminação, climatização, etc.
- Custos de Manutenção de Estoques – Representa os custos de serviços de inventário (seguros e impostos sobre estoques), custos de riscos de inventário (perdas e roubos), depreciação dos materiais e com certeza o mais expressivo é o Custo de Oportunidade do capital parado.
- Custos de obsolescência ou deterioração: associados ao risco da perda de materiais devido ao tempo em que os mesmos ficam estocados.
- Custos de Processamento de Pedido – inclui custos de transmissão de pedidos, entradas, processamento e movimentações, pois, o pedido dá início a todo o funcionamento do sistema logístico. Estão inclusos nesse custo o salário do comprador, o aluguel do espaço destinado ao setor de compra, os papéis usados na emissão de pedidos etc.
- Custos de Tecnologia de Informação – O investimento em tecnologia busca integrar as informações entre fornecedores e clientes, oferecendo melhorias de resultados na cadeia de suprimento. Essas atividades estão na interface entre o cliente e a empresa e envolve a maneira pela qual a informação de venda é fornecida, o que é transmitido e como é feita a comunicação.
- Custos com Planejamento e Controle de Produção – gastos com a sincronização das entradas (materiais), para que as necessidades de saídas (produtos) sejam atendidas.

Custos de Transportes – Considerado como o maior custo isolado da cadeia logística, envolvem todos os custos com fretes do fornecedor para a empresa,

da empresa para o cliente, e podem ser analisados por modo (rodoviário, aéreo, ferroviário, cabotagem e hidroviário), transportador, canal ou produto.

- Custos Tributários – envolvem os custos com impostos e taxas nas operações de aquisição e venda.

Uma vez entendidos quais são os principais custos logísticos, a seguir será apresentado um dos principais fatores que influenciam no custo da cadeia e na satisfação dos clientes: o Nível de Serviço.

### **2.3. CONTROLE DO NÍVEL DE SERVIÇO**

De acordo com Bovet e Thiagarajan (2000), a logística transforma aspectos fundamentais da concorrência, como preço e características do produto, em excelência de serviço e valor para o cliente. Essas características de valor para o cliente podem ser traduzidas sob o ponto de vista da logística como o nível de serviço entregue aos parceiros. O nível de serviço estabelece os níveis de desempenho desejado para o atendimento às necessidades do mercado (Bowersox ; Closs, 1996).

O principal objetivo do controle de nível de serviço é buscar minimizar o investimento em inventário e manter a disponibilidade dos produtos. Quanto maior o nível de atendimento desejado, maior será a quantidade de estoque necessária. Ballou (1993) argumenta que o efeito do nível de serviço sobre os estoques é fazer com que os mesmos cresçam exponencialmente com disponibilidades elevadas, de maneira que na prática, o nível de serviço utilizado no dimensionamento dos estoques acaba sendo na maioria das vezes menor que 100%. Outro aspecto apontado por Ballou (1993), refere-se ao fato de nem todos clientes ou produtos necessitarem ser atendidos pelo mesmo nível de serviço. Pode-se estabelecer, por exemplo, níveis de serviços diferenciados para um conjunto de clientes de acordo com a distância do depósito. De forma similar, os itens podem ser classificados por rentabilidade ou volume de vendas, de forma que se priorize um maior nível de serviço para os mais importantes. Levando-se em consideração o fato de que os níveis de serviço em uma cadeia de suprimentos não são uniformes para todos os

clientes e produtos, as metas estabelecidas devem considerar um nível de serviço médio.

Existem diversas formas de se medir o nível de serviço, sendo a mais comum e utilizada na literatura, que são os pedidos completamente atendidos, representada na equação 01:

$$NS = \frac{\text{Quantidade de entregas completas}}{\text{Quantidade total de entregas}} \times 100\% \quad (\text{eq. 01})$$

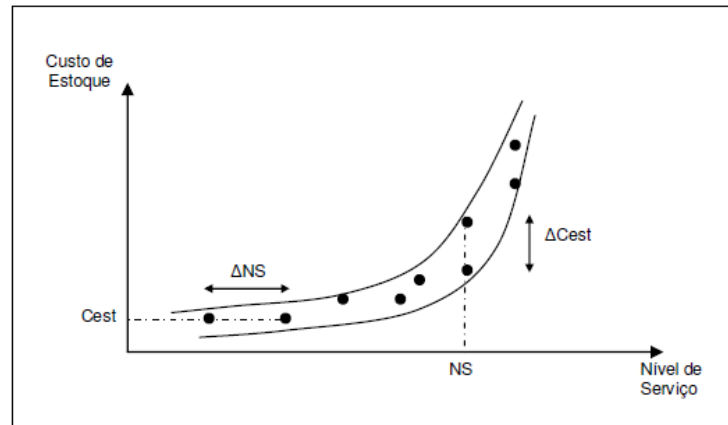
Outras métricas também podem ser utilizadas, tais como taxa de atendimento (*fill-rate*), taxa de rupturas, disponibilidade de estoques e tempo de entrega. Bowersox e Closs (1996) e Ballou (1993) recomendam a utilização combinada dessas métricas para medir o nível de serviço.

#### **2.4. DILEMA: CUSTOS DE ESTOQUES X NÍVEL DE SERVIÇO**

Pode-se considerar a relação custo de estoque x nível de serviço como um dos principais dilemas da logística. Pimenta (2000) argumenta que o maior obstáculo da logística moderna é a exigência cada vez maior dos clientes por melhores níveis de serviços, onde o preço passa a ser um qualificador, e o nível de serviço um diferenciador perante o mercado.

Os custos relacionados aos estoques possuem comportamentos conflitantes. Na medida que maiores quantidades são estocadas, maiores são os custos de manutenção, porém será necessária uma menor quantidade de pedidos, com lotes maiores, para manter os níveis de estoques necessários para atender às necessidades dos clientes (Ballou, 1993).

A figura 03 mostra a relação entre os custos de estoque e o nível de serviço desejado. Pode-se observar que para um mesmo custo de estoque, é possível obter vários níveis de serviço, dependendo de variáveis tais como tempo de entrega e produção, previsibilidade, flexibilidade e outros.



**Figura 3 - Curva para planejamento de estoques. (Ballou, 1998)**

Ao mesmo tempo em que as empresas buscam reduzir custos, as mesmas devem garantir a disponibilidade dos produtos aos clientes, garantindo vantagens competitivas. Alguns fatores, citados por Wanke (2000), levam às empresas a se esforçar para superar esse dilema:

- Crescente diversidade de produtos: na velocidade em que novos produtos são introduzidos no mercado e na medida em que o ciclo de vida dos mesmos tem diminuído, a gestão contínua dos níveis de estoques, pontos de pedidos e estoques de segurança torna-se cada vez mais complexa.
- Alto custo de capital de giro: a manutenção de estoques está se tornando cada vez mais dispendiosa, visto as elevadas taxas de juros, principalmente no Brasil.
- Redução do capital circulante líquido: gerentes adotam essas medidas como forma de maximizar os indicadores de Valor Econômico Adicionado (*Economic Value Added – EVA*).

Além dos motivos citados, que mostram a necessidade de balancear o conflito entre custos de estoques e nível de serviço, as empresas também necessitam buscar o equilíbrio relativo à localização dos estoques ao longo da cadeia. Estoques no início da cadeia permitem que menos valor seja agregado ao material e que as matérias-primas sejam alocadas de acordo com a demanda. Já no caso de estoque na ponta consumidora, permitem uma maior velocidade de atendimento aos clientes (Dias, 2003).

## 2.5. POLÍTICAS DE CONTROLE DE ESTOQUES

Os recursos investidos em estoques variam de acordo com o setor ao qual a empresa pertence. Segundo Gapski (2003), os estoques representam de 20 a 60 % dos ativos totais das empresas. Ao gerenciar seus estoques, as empresas estão administrando uma parcela relevante de seus ativos, de forma que o controle dos mesmos exerce significativa influência na rentabilidade das organizações. O ponto fundamental é a definição de qual o nível de estoque mais adequado para cada produto ou família de produtos. Essa definição passa pelo estabelecimento de políticas de reposição dos estoques, que são consideradas pontos-chave para o controle de estoques. Deve-se almejar o correto balanceamento dos estoques, evitando situações de itens superdimensionados coexistindo com a falta de itens importantes. Muitas vezes, os analistas e gestores de estoques convivem com a seguinte preocupação: “temos o que não precisamos e não temos o que precisamos”. A escolha de um método de controle de estoques adequado para atingir a satisfação do cliente constitui um fator crítico para a gestão da cadeia de suprimentos. Segundo Wanke (2000), a definição da política de reposição depende de quatro decisões a serem tomadas:

- 1) Localização dos estoques: Refere-se à decisão de centralizar ou descentralizar.
- 2) Quando pedir: Determina o momento em que o pedido será feito.
- 3) Quanto manter em estoques de segurança: Definição de quanto de estoque deve ser mantido para suportar as variações na demanda e *lead time*, sem prejudicar a disponibilidade do produto.
- 4) Quanto pedir: Estabelece o tamanho do lote de reposição.

Lenard e Roy (1995) afirmam que o controle de estoque é estudado desde 1913 com Harris. Um bom gerenciamento de estoques equaciona as questões de disponibilidade, nível de serviço e custos de manutenção (Krever *et al.*, 2003). As formas mais comuns de políticas de reabastecimento adotadas na prática são: Revisão Contínua e Revisão Periódica (Dias, 2003).

- **Revisão contínua (s,S) ou (s,Q):** Nesse tipo de política, o estoque é monitorado continuamente e a reposição é feita assim que o nível de estoque fica abaixo do ponto de reposição (s). No caso da política (s,S), a quantidade de reposição é calculada pela diferença entre o estoque atual e o estoque alvo (S). Para a política (s,Q), o estoque é sempre repostado de acordo com um tamanho de lote pré-determinado (Q).
- **Revisão Periódica (R,S):** Os estoques são monitorados em intervalos periódicos (R) e regulares. A reposição é feita a cada R períodos, elevando-se o nível do estoque até um patamar pré estabelecido (S).

No caso da política de revisão periódica, o estoque de segurança deve cobrir a variabilidade da demanda ao longo do *lead time* mais o período de revisão, resultando em maiores níveis de estoques. Sob essa constatação, a redução do *lead time* torna-se essencial para diminuição da incerteza na demanda e consequentemente dos níveis de estoque. O cálculo do *lead time* de cada produto deve levar em consideração qual é o fornecedor, como trabalha, se é comprometido, a importância da empresa para aquele fornecedor, qual a localidade do produto e sua forma de transporte. O modal de transporte pode ser rodoviário, ferroviário, hidroviário, aéreo ou marítimo. No caso dos fornecedores da empresa estudada, os fornecimentos são feitos via transporte rodoviário ou marítimo. Por política da empresa, todo o transporte dos produtos é de responsabilidade do fornecedor, o que permite aos mesmos maior flexibilidade na entrega. Algumas ações podem ser tomadas para redução do *lead time*: melhorar a qualidade e precisão das informações; redução dos ciclos de atividades; remoção de gargalos e sincronização do *lead time* e capacidade em todos os elos da cadeia (Towill, 1996).

A escolha por políticas de revisão contínua ou revisão periódica é normalmente baseada nas vantagens percebidas em relação a cada uma delas. Estas vantagens podem ser quantitativas ou qualitativas. Segundo Rao (2003), a revisão periódica poderia ser preferida em função da facilidade de execução ao passo que na revisão contínua podem ser necessários maiores investimentos tecnológicos. A revisão periódica pode ser preferida também devido a redução de custos no agrupamento de ordens de ressuprimento de diferentes produtos,

economias em escala de produção e transporte (Ballou, 2001). Podem ainda ser considerados benefícios qualitativos devido ao acompanhamento de um programa regular de ressuprimento. Maiores detalhes sobre políticas de gestão de estoques podem ser consultados em Hax e Candea (1984), Simchi-Levi *et al.* (2003) e Ballou (2001).

## 2.6. GESTÃO DA DEMANDA

Conforme Slack, Chambers e Jonhston (2008), a gestão da carteira de pedidos e da previsão de vendas, tomada conjuntamente, é denominada gestão da demanda. A gestão da demanda engloba um conjunto de processos que fazem a interface da empresa com seu mercado consumidor e/ou fornecedor. Segundo Correia; Gianesi; Caon (2006), a gestão de demanda trata-se de um elemento gerencial essencial na administração de hoje e do futuro.

A demanda de um determinado item pode ser de dois tipos: dependente ou independente (Correa *et al.*, 1999). A demanda dependente é consequência direta de outro evento sobre o qual se tem algum tipo de informação, sendo derivada das exigências especificadas em uma programação de produção (Ballou, 2001). Por outro lado, a demanda independente vem do mercado e não está associada a fatores conhecidos. A demanda dependente pode ser calculada enquanto que a independente deve ser prevista, com base nas características do mercado.

São considerados materiais de demanda dependente: matérias-primas, componentes e submontagens que são utilizados na produção de itens finais. A quantidade a ser utilizada para cada um desses materiais dependem da decisão de produção do produto final. A demanda dependente é determinada pelo projeto e as quantidades de produção são calculadas pelo *MRP (Material Requirements Planning)*.

Os materiais de demanda independente consistem nos produtos acabados, peças sobressalentes e outros itens cuja demanda provém do mercado. A demanda independente pode ser tratada como uma série temporal e ser modelada através de procedimentos estatísticos (Ballou, 2001).



O tipo de demanda para cada produto está diretamente relacionado à estratégia de produção utilizada pela empresa, que varia de acordo com a demanda do mercado e de seus próprios estoques de produto final, podendo seus produtos serem fabricados “sob pedido” ou “para estoque”. Sob esse ponto de vista, é importante analisar o efeito da estratégia de produção sobre a retirada dos produtos do estoque num sistema *VMI*. No caso de produção “sob pedido”, a chegada de um pedido de reposição afeta diretamente nas retiradas de estoque e, conseqüentemente, passa a ser um dado de entrada de substancial importância para o plano de reposição do fornecedor. O tempo decorrente entre o envio do pedido e a retirada do estoque depende do tempo de processamento do pedido e da capacidade de produção. Quanto maior for essa janela de tempo, mais o fornecedor pode explorá-la para melhorar seu plano de reposição, além de servir como indicação de demanda futura. Ao produzir “para estoque”, a ligação entre a chegada de um pedido e a retirada de estoque num sistema *VMI* é desconectada. Nesse caso, a chegada de pedidos pode ser utilizada como informação para cálculo da qualidade das previsões de demanda. Porém, as retiradas de estoque não mais serão afetadas pelos pedidos que estão chegando, mas sim pelo plano de produção. Baseados nesses fatos, segundo Vigtil (2007), se a retirada de estoque é baseada na chegada de um pedido, temos o caso de demanda independente, devendo ser prioritário o envio das informações referentes aos pedidos a chegar. Os dados das retiradas de estoque podem ser compartilhados para efeito de controle. Para a situação em que as retiradas de estoque refletem o plano de produção, ou seja, a demanda é dependente, torna-se necessário enviar dados da programação de produção e das retiradas de estoque. Dados dos pedidos podem ser utilizados para calcular a qualidade da previsão. No caso do modelo desenvolvido, as duas opções serão analisadas, dependendo da configuração de cadeia de suprimentos que for utilizada (ver secção 5.3).

Nas secções posteriores serão descritos com maiores detalhes o *MRP* e as técnicas de previsão utilizadas no gerenciamento e controle de estoques. Porém, antes disso, deve-se entender os aspectos relacionados à incerteza na demanda, representado pelo estoque de segurança.

## 2.7. GERENCIAMENTO DA INCERTEZA NA DEMANDA: ESTOQUE DE SEGURANÇA

O estoque de segurança é o estoque mantido com o propósito de atender uma demanda que excede a quantidade prevista em um determinado período. O estoque de segurança existe porque as previsões de demanda são imprecisas, o que pode ocasionar a falta dos produtos caso o consumo real ultrapasse o previsto. A elevação do estoque de segurança aumenta a disponibilidade do produto, possibilitando um maior volume de vendas, mas onera os custos de manutenção dos estoques.

O nível adequado de estoque de segurança é determinado pelos seguintes fatores: incerteza na demanda ou de suprimento e nível de serviço desejado de disponibilidade do produto. Segundo Krupp (1984), apesar da ênfase dada atualmente nos conceitos da metodologia *JIT*, existem muitos ambientes onde a variabilidade da demanda gera a necessidade de estoques de segurança.

Tradicionalmente, os estoques de segurança são calculados baseados nas incertezas na demanda. Contudo, Zin e Marmorstein (1999) apresentam um estudo utilizando simulação que compara dois métodos de determinação do estoque de segurança, um focado na variabilidade da demanda e outro na variabilidade do erro da previsão de demanda. Na abordagem focada na variabilidade da demanda, a previsão implicitamente disponível seria a demanda média, diferentemente desta segunda formulação que considera as informações de um modelo de previsão de demanda. O fato da previsão de demanda ser potencialmente mais precisa (considerando a utilização de modelos de previsão de demanda) que a média da demanda real, garante menores desvios padrão para o erro da previsão de demanda do que o desvio da demanda real. A abordagem com foco na variabilidade do erro da previsão apresentada por Brown (1977) utilizada e adaptada em estudos feitos por Herron (1987) e por Dror e Trudeau (1988) demonstra a necessidade de menores volumes de estoque de segurança quando se utiliza o erro de previsão. Segundo Zin e Marmorstein (1999) uma vez que o erro da previsão de demanda pode ser aproximado por uma distribuição normal, a probabilidade de ruptura é função do número de desvios padrão do erro da previsão mantidos no estoque de segurança.

## 2.8. PLANEJAMENTO DA GESTÃO DA DEMANDA INDEPENDENTE: TÉCNICAS DE PREVISÃO

As análises das futuras condições de mercado e previsão da demanda futura são da maior importância para a elaboração do planejamento de produção e reposição. Mesmo em indústrias que fabricam produtos sob encomenda, onde não se faz nenhum estudo formal de previsão de demanda, a alta direção pode fazer conjecturas sobre o estado da economia e o seu impacto nos negócios futuros da empresa. Segundo Diaz e Pires (2003), a previsão da demanda é uma etapa crítica para todos os membros de uma cadeia de suprimentos devido à complexidade e às incertezas de suas atividades. Para Ritzman (2004), “As previsões são necessárias para auxiliar na determinação de que recursos são necessários, na programação dos recursos existentes e na aquisição de recursos adicionais”. São características de um bom sistema de previsão: boa acuracidade, simplicidade de cálculo e habilidade de rápidos ajustes frente às mudanças. Segundo Buffa e Sarin (1987), as previsões de demanda podem ser classificadas em: longo prazo, médio prazo e curto prazo.

- curto prazo : estão relacionadas com a Programação da Produção e decisões relativas ao controle de estoque.
- médio prazo : o horizonte de planejamento varia aproximadamente de seis meses a dois anos. Planos tais como : Plano Agregado de Produção e Plano Mestre de Produção se baseiam nestas previsões.
- longo prazo : o horizonte de planejamento se estende aproximadamente a cinco anos ou mais. Auxilia decisões de natureza estratégica, como ampliações de capacidade, alterações na linha de produtos, desenvolvimento de novos produtos, etc...

Com relação aos cuidados básicos durante a coleta e análise dos dados para elaboração da previsão, Tubino (2000) alerta que:

- Quanto mais dados históricos forem coletados e analisados, mais confiável a técnica de previsão será;

- Os dados devem buscar a caracterização da demanda pelos produtos da empresa, que não é necessariamente igual às vendas passadas, pois pode ter ocorrido falta de produtos, postergando as entregas ou deixando de atendê-las;
- Variações extraordinárias da demanda como promoções especiais ou greves, devem ser analisadas e substituídas por valores médios, compatíveis com o comportamento normal da demanda;
- O tamanho do período de consolidação dos dados (semanal, mensal, trimestral, anual, etc.) deve ser escolhido de acordo com as necessidades da empresa e compatível com o modelo de previsão escolhido.

Definindo-se a técnica de previsão e a aplicação dos dados passados para obtenção dos parâmetros necessários, podem-se obter as projeções futuras da demanda. Quanto maior for o horizonte pretendido, menor a confiabilidade na demanda prevista (Tubino, 2000). É de extrema importância monitorar o erro entre a demanda real e a prevista, para verificar a eficiência do modelo de previsão e seus parâmetros. As incertezas das previsões e seus erros provêm de fontes distintas: uma correspondente ao próprio mercado, que dada sua natureza, pode ser bastante instável e de baixa previsibilidade. A segunda corresponde ao sistema de previsão que, com base em informações coletadas no mercado e de dados históricos, gera uma informação que pretende antecipar a demanda. Ao detectar desvios significativos entre previsão e demanda real, inicialmente deve-se buscar ajuste nos parâmetros do modelo e caso esse ajuste não seja suficiente pode ser necessário escolher uma nova técnica de previsão.

A seguir serão apresentadas as principais técnicas de previsão encontradas na literatura. Os métodos baseiam-se em dados históricos ou no julgamento e análise de uma ou mais pessoas.

## 2.9. TÉCNICAS DE PREVISÃO

Existem vários métodos de determinação de previsões de demanda. Segundo Ballou (2001), tais métodos podem ser divididos em três grupos: qualitativo, projeção histórica e causal.

### 2.9.1 Métodos Qualitativos

São os métodos que utilizam a intuição, as pesquisas ou técnicas comparativas para produzir estimativas quantitativas a respeito do futuro. Modelos de previsão qualitativos são essencialmente subjetivos. Apoiam-se no julgamento e na opinião de alguém para fazer a previsão. São mais apropriados quando existem poucos dados históricos disponíveis ou quando os especialistas têm inteligência de mercado, crucial para a realização das previsões.

As principais características desses métodos são:

- Informações não quantitativas, suaves e subjetivas.
- Dados históricos indisponíveis ou pouco relevantes.
- Difíceis de padronizar e validar em termos de acurácia.
- São mais utilizados em vendas de novos produtos, mudanças nas políticas do governo ou impacto de uma nova tecnologia.
- Geralmente utilizados para previsões de médio e longo alcance.

Dentre os Métodos Qualitativos de Previsão, Gaither (2002) destaca:

- Consenso do comitê executivo: executivos com capacidade de discernimento, de vários departamentos da organização, formam um comitê que tem a responsabilidade de desenvolver uma previsão de vendas.
- Método Delphi: usado para se obter o consenso dentro do comitê, podendo ser obtida uma previsão com a qual a maioria dos participantes concordou, apesar de ter ocorrido uma discordância inicial.

- Pesquisa de equipe de vendas: estimativas de vendas regionais futuras são obtidas e combinadas para formar uma estimativa de vendas única para todas as regiões, que deve então ser transformada pelos executivos em uma previsão de vendas para assegurar estimativas realísticas.
- Pesquisa de clientes: clientes individuais são pesquisados para determinar quais quantidades dos produtos da empresa eles pretendem comprar em cada período de tempo futuro.
- Analogia histórica: o conhecimento das vendas de um produto durante várias etapas de seu ciclo de vida é aplicado às estimativas de vendas de um produto similar. Pode ser especialmente útil na previsão de vendas de novos produtos.
- Pesquisa de mercado: questionários por correspondência, entrevistas telefônicas ou de campo formam base para testar hipóteses sobre mercados reais.

### 2.9.2 Métodos por Projeção Histórica

Utilizam modelos matemáticos e estatísticos como ferramentas, de forma que o padrão do futuro seja em grande parte uma reprodução do passado. Para que o método possa gerar previsões acuradas é necessário que os padrões da demanda sejam razoavelmente estáveis.

As principais técnicas de previsão por projeção histórica utilizadas são: regressão linear e correlação, média móvel, suavização exponencial simples, suavização exponencial de séries com tendência, que serão brevemente descritos:

- **Regressão linear e correlação:** é um modelo de previsão que estabelece uma relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes.

- **Média móvel simples:** um tipo de modelo de previsão com série temporal de curto prazo, que prevê vendas para o período seguinte.
- **Média móvel ponderada:** é semelhante ao modelo de média móvel, exceto que, ao invés de uma média aritmética de vendas passadas, a média ponderada das vendas passadas é a previsão para o período de tempo seguinte.
- **Exponencial móvel:** também um modelo de previsão com série temporal de curto prazo, que prevê as vendas para o período seguinte. Neste método, as vendas previstas para o período passado são modificadas pela informação a respeito do erro previsto do último período. É adequado quando a demanda não apresenta tendência ou sazonalidade.
- **Exponencial móvel com tendência:** o modelo exponencial móvel, mas modificado para acomodar dados com um padrão de tendência.

### 2.9.3 Métodos Causais

Nos modelos causais, as previsões são construídas sobre a premissa básica de que o nível de variável de previsão origina-se de outras variáveis relacionadas. Tais modelos podem apresentar bons resultados quanto à antecipação de mudanças na série de tempo e em previsões de médio e longo alcance, desde que existam relações de causa e efeito entre as variáveis. Os modelos causais funcionam bem quando pode ser identificada uma variável representativa. A maior dificuldade desses modelos é encontrar as variáveis verdadeiramente causais (Ballou, 2001). Além disso, na maioria das vezes, quando a variável é encontrada, sua associação com a variável a ser prevista é muito baixa, o que pode levar a erros significativos, principalmente em modelos baseados em regressão e técnicas econômicas. Os principais métodos causais são:

- **Análise de regressão:** semelhante ao método dos mínimos quadrados das séries temporais, mas pode apresentar múltiplas variáveis.
- **Modelos de entrada/saída:** enfoca as vendas de cada indústria para outras empresas e governos.
- **Principais indicadores:** estatísticas que se movem na mesma direção das séries previstas, mas se alteram após as séries, como quando o aumento do preço da gasolina indica um declínio futuro nas vendas de carros grandes.

## 2.10. MEDIDAS DE ERROS DAS PREVISÕES

Toda demanda possui um componente aleatório, que é manifestado pelo erro de previsão. Segundo Ballou (2001), o erro da previsão refere-se a quanto a previsão está próxima do nível real da demanda, sendo expresso normalmente através do desvio padrão, variância ou desvio absoluto médio. O desvio padrão do erro de previsão é calculado pela equação 02:

$$S_F = \sqrt{\frac{\sum_t (D_t - \mu_t)^2}{N-1}} \quad (eq.02)$$

Em que:

$S_F$  – erro padrão da previsão.

$D_t$  – demanda real no período t.

$\mu_t$  - previsão para o período t.

N – número de períodos para previsão.

Nos casos em que o modelo de previsão segue a média dos níveis reais da demanda e a variação da demanda real sobre a previsão é pequena com relação ao nível de previsão, pode-se assumir a distribuição normal ou suas aproximações



como a distribuição do erro da previsão. Um teste simples que pode ser aplicado para determinar se deve ser aplicada a distribuição normal ou a exponencial é o proposto por Broen (1977): “ *Se o número de desvios padrão que é levado em conta para tudo exceto 2% das observações está próximo de 2, uma distribuição normal deve ser usada. Se estiver acima de 2,7, deve-se utilizar então a distribuição exponencial.*”

Chopra e Meindl (2003) argumentam que o erro de previsão deve ser calculado por duas razões: permite avaliar se o modelo está prevendo a demanda de forma satisfatória e pela necessidade de se estimar erros.

### **2.11. PLANEJAMENTO DA GESTÃO DA DEMANDA DEPENDENTE: *MRP* (*MATERIAL REQUERIMENTS PLANNING*)**

As formas tradicionais de determinação dos momentos e quantidades de ressuprimento tratavam todos os itens de forma similar, como se a demanda deles todos se dessem de forma independente, uns dos outros.

Os sistemas “olhavam” individualmente os diversos itens acompanhando o estoque à medida que a demanda os consumia e, então, com base em alguma lógica predefinida, determinavam o momento e a quantidade de ressuprimento. O sistema *MRP* (“*Material Requirements Planning*” - Planejamento das necessidades de materiais) surgiu durante a década de 60, com o objetivo de executar computacionalmente a atividade de planejamento das necessidades de materiais. Ballou (2001) descreve o conceito de *MRP* como:

[...] um método mecânico formal de programação de suprimentos no qual o tempo de compras ou de saída da produção é sincronizado para satisfazer necessidades operacionais período a período ao equilibrar a requisição de suprimentos para as necessidades pela duração do tempo de reabastecimento.

O sistema *MRP* foi concebido a partir da formulação dos conceitos desenvolvidos por Joseph Orlicky e Oliver Wight, em que os itens que compõe o produto acabado possuem uma demanda dependente, que pode ser calculada com

base nas necessidades de produção. A relação entre tais itens pode ser estabelecida por uma lista de materiais que definem a quantidade de componentes que serão necessários para se produzir um determinado produto (Swann,1983). O planejamento para aquisição dos itens é definido a partir do Plano Mestre de Produção, listas de materiais, disponibilidade dos estoques e dos tempos de entrega, de maneira que é possível definir as datas nas quais cada itens deve estar disponível.

Para evitar erros nos pedidos de fabricação e ordens de compra, é imprescindível verificar e validar os dados de entrada, bem como as listas de materiais (Martins, 1993). As listas de materiais devem ser fiéis à realidade da produção tanto em termos de quantidades quanto em relação às precedências entre as atividades. Segundo Ballou (2001), o estabelecimento preciso dos tempos dos fluxos de materiais é o princípio básico para o funcionamento do *MRP*.

Alguns benefícios do *MRP* são: redução do custo de estoque; melhoria da eficiência da emissão e da programação; redução dos custos operacionais e aumento da eficiência da fábrica. Aggarwal (1985) aponta algumas desvantagens do sistema *MRP*, tais como : ser um sistema complexo e necessitar de uma grande quantidade de dados de entrada; não consideram a limitação da capacidade produtiva, enquanto que na realidade alguns centros produtivos comportam-se como gargalos. Nesse caso, muitas vezes os sistemas *MRP* sugerem cronogramas impossíveis (Simchi-Levi *et al.*, 2003). Tais considerações prejudicam consideravelmente a programação lógica do *MRP*, além de tornar ineficiente sua capacidade de planejamento e controle.

Em relação à implementação do *MRP*, Krupp (1984) relata alguns pontos que podem gerar falhas: o *MRP* ser visto como um sistema único e como um sistema fechado com retroalimentação; acreditar que o *MRP* se adapta a qualquer empresa e acreditar que o *MRP* é uma tecnologia acabada.

Com a finalidade de se conseguir uma implementação de sucesso de um sistema *MRP*, é necessário entre outros fatores: realizar uma adequação do *MRP* ao sistema de manufatura; o comprometimento e envolvimento da alta gerência; treinamento dos empregados.

### **3. CONCEITOS RELACIONADOS AO VMI**

Este capítulo se concentra em fazer uma revisão bibliográfica sobre conceitos importantes relacionados à iniciativa *VMI*. Primeiro, são apresentados os conceitos de reposição contínua e os principais Programas de Resposta Rápida (PRR). A seguir é feita uma revisão dos principais conceitos relacionados às definições de *VMI*, fatores críticos, barreiras e fracassos encontrados em implementações. Terceiro, é tratada a importância do compartilhamento de informações e da visibilidade das informações ao longo da cadeia de suprimentos. Em um mundo caracterizado pela utilização de bancos de dados, *EDI (Eletronic Data Interchange)*, *RFID (Radio Frequency Identification)*, sistemas de apoio à decisões, internet e intranet, torna-se necessário compreender cada vez mais os efeitos da disponibilidade de informações bem como as implicações que essa disponibilidade tem na gestão de cadeias de suprimentos governadas por parcerias de gerenciamento de inventários colaborativas. Não somente a utilização de informações muda a forma como gerenciar uma cadeia de suprimentos, mas também o alcance dessas informações, a quantidade de elos da cadeia que as enxerga e, principalmente, a forma e a finalidade que as utilizam para melhoria da eficiência do sistema. Por fim, é apresentada a estrutura de avaliação de sistemas *VMI* proposta por Sarpola (2007) e configurações de cadeias de suprimentos colaborativas definidas por Holmström *et al.* (2003), que servirão como referência para desenvolvimento do modelo de simulação proposto.

#### **3.1. REPOSIÇÃO CONTÍNUA DOS ESTOQUES**

O *VMI* é uma parceria de gerenciamento de inventários colaborativa cujo conceito está baseado na reposição contínua dos estoques, em que são utilizadas informações dos inventários e demanda dos clientes através do uso de tecnologia da informação. A abordagem por reposição contínua é considerada como um Programa

de Resposta Rápida, cujas principais características e programas serão descritos na próxima secção.

O conceito da reposição contínua propõe-se a repor as mercadorias com base em sua demanda real e nas previsões de consumo. Além disso, a reposição contínua visa à redução dos custos logísticos e o atendimento ao nível de serviço desejado aos clientes (Gapski, 2003).

Para a ECR Brasil (1998), a reposição contínua é “ uma estratégia de suprimento de produtos em que os parceiros de negócio trabalham conjuntamente no planejamento e operação da cadeia de demanda e suprimentos.”

Os benefícios da reposição contínua são:

- Aumentar disponibilidade e qualidade dos produtos
- Diminuição das rupturas de produtos
- Redução de custos logísticos da cadeia de suprimentos
- Redução dos níveis de estoques
- Maior acuracidade de inventário
- Maior previsibilidade de produção

Tais benefícios permitem que as empresas consigam aumentar sua vantagem competitiva através de:

- Crescimento sem a necessidade de realizar investimentos
- Maior geração de valor devido à maior alavancagem de recursos por meio do aumento do nível de serviço sem aumento de custos

Na reposição contínua, os papéis do fornecedor e do cliente mudam radicalmente, pois o processo de reabastecimento é alterado. Nos processos de reposição tradicionais, verifica-se que os compradores e analistas ficam responsáveis por inúmeras atividades e acabam ficando presos ao nível operacional, deixando de lado o aspecto estratégico da função. Gapski (2003) aponta que 70% das atividades dos compradores e analistas estão ligadas a tarefas operacionais e apenas 30% a assuntos estratégicos. O tempo disponível para análises de estoques,

preços, demanda e planejamento de reposições é insuficiente, o que facilita a geração de excessos e faltas de produtos. Por meio da reposição contínua, o gerenciamento do reabastecimento fica facilitado, e pode ser dado mais foco em atividades estratégicas.

### 3.2. PROGRAMAS DE RESPOSTA RÁPIDA

Ao promover a integração, as empresas conseguem agilizar a movimentação de materiais e o fluxo de informações ao longo da cadeia de suprimentos. O sucesso para a obtenção de resultados positivos e expressivos depende da maior visibilidade que cada elo possui, ou seja, todos devem operar seus processos com o maior conhecimento possível dos estoques nos elos subseqüentes, além de informações importantes como a demanda em tempo real, previsões e etc.

Visando o aumento da eficiência das operações em cadeias de suprimentos, surgiram vários PRR's, baseados em iniciativas para gerenciamento de inventários de forma colaborativa, sendo eles: *Quick Response (QR)*, *Continuous Replenishment (CR)*, *Efficient Consumer Response (ECR)*, *Vendor Managed Inventory (VMI)*, *Supplier Managed Inventory (SMI)*, *Just in Time II (JIT II)* e *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR)*.

Segundo o Coppead/UFRJ, os PRR's:

[...] surgiram como contraposição às políticas de antecipação à demanda, fortemente dependentes de previsões de vendas, pontos de pedidos e tamanhos de lotes para empurrar os produtos através dos elos da cadeia de suprimentos. Seus fundamentos lógicos remontam aos princípios básicos verificados na produção enxuta e nos resultados obtidos através de experiências no Sistema Toyota de Produção.

Para um melhor entendimento dos PRR's as parcerias citadas são descritas resumidamente a seguir segundo Wanke (2004). As parcerias *VMI* e *SMI* serão detalhadas em secção à parte, visto serem objeto de estudo da presente pesquisa.

### 3.2.1 Quick Response (QR)

Os fornecedores recebem os dados coletados nos pontos de venda do cliente e utilizam essa informação para sincronizar suas operações de produção e seus estoques com as vendas reais do cliente. O cliente continua colocando seus pedidos de forma individual, mas os dados do ponto de venda são utilizados pelo fornecedor para aprimorar sua previsão e sua programação. No *QR*, as operações de distribuição também são afetadas, de maneira que os produtos não são mais armazenados em centros de distribuição, mas sim movimentados através de instalações de *cross-docking*. Essas ações visam reduzir o tempo de resposta do fluxo de produtos, e conseqüentemente a redução nos níveis de estoque.



Figura 4 - Representação do Fluxo de Produtos e de Informações no QR (Wanke, 2004)

### 3.2.2 Continuous Replenishment (CR)

Os fornecedores recebem os dados do ponto de venda para preparar carregamentos em intervalos regulares e assegurar a flutuação do estoque no cliente entre determinados níveis máximo e mínimo. Esses níveis de estoque podem variar em função de padrões sazonais de demanda, de promoções e de mudança no gosto do consumidor. Apesar do termo *CR* ter surgido antes do termo *ECR* –

Efficient Consumer Response, mais recentemente alguns autores apontam o *CR* como uma das cinco ações do programa *ECR*.

### **3.2.3 *Efficient Consumer Response (ECR)***

No *ECR*, fabricantes e supermercadistas cooperam em cinco áreas principais: o compartilhamento de informações em tempo real, o gerenciamento de categorias (agrupamento de produtos com mesmas características mercadológicas), a reposição contínua, o custeio baseado em atividades e a padronização. Assim como no *QR*, no *ECR* os produtos são movimentados rapidamente por instalações de *cross-docking*. O compartilhamento de informações permite definir a seqüência mais apropriada para os carregamentos, bem como o melhor *mix* de produtos.

Uma diferença chave do *ECR* para o *QR*, é que através do gerenciamento de categorias, fornecedores e clientes deixam de utilizar intensivamente estratégias promocionais, evitando movimentos especulativos de antecipação de compras no varejo, criando estoques excessivos na cadeia, ou seja, minimizando o Efeito Chicote.

Finalmente, a padronização busca estabelecer normas e rotinas para a operacionalização do fluxo de produtos e de informações, através da uniformização dos meios de transporte, dos procedimentos para liberação e recepção de veículos e da troca eletrônica de dados. O custeio baseado em atividades permite quantificar as melhorias operacionais obtidas com o *ECR*.

### **3.2.4 *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR)***

O *CPFR* constitui uma extensão do *CRP/ECR*, no qual fabricantes e varejistas compartilham sistemas e o processo de previsão de vendas. O objetivo principal é identificar qual empresa gera previsões de vendas mais precisas para um

determinado *SKU (Stock Keeping Unit)*, numa determinada região geográfica, num determinado horizonte de planejamento. O *CPFR* é uma iniciativa desenvolvida com base no pressuposto que o acesso aos dados coletados nos pontos de venda do cliente é insuficiente para que os fabricantes se beneficiem integralmente do CRP em todas as suas operações.

### 3.2.5 *Just in Time II (JIT II)*

O JIT II consistiria na extensão lógica do regime de produção JIT para fora da empresa. No JIT II o fornecedor disponibilizaria um funcionário para trabalhar no seu cliente. Esse funcionário é conhecido como in-plant e tomaria decisões relacionadas à programação de produção e aquisição de insumos, além dedicar parte do seu tempo a projetos de engenharia simultânea. O in-plant substitui as funções do comprador e do planejador no cliente e a função do vendedor no fornecedor. O JIT II foi desenvolvido com o intuito de estreitar a comunicação entre comprador e vendedor, reduzindo desperdícios e esforços redundantes, além de melhorar a capacidade de resposta do fornecedor. A tabela 02 mostra as principais características de cada um do PRR descritos anteriormente.

**Tabela 2 - Características dos Programas de Resposta Rápida (PRR), adaptado de Wanke (2004).**

<b>PRR</b>	<b>Quem Decide a Reposição</b>	<b>Como Decide a Reposição</b>	<b>Propriedade dos Estoques</b>	<b>Como o Fornecedor Utiliza os Dados da Demanda</b>
<i>QR</i>	Cliente	Previsão de vendas e independente do fornecedor	Cliente	Aprimorar previsão de vendas e sincronização das operações
<i>CRP</i>	Fornecedor	Com base na posição de estoque. O nível de reposição é decidido em conjunto	Fornecedor/cliente	Atualizar posição de estoque e modificar nível de reposição em conjunto com varejo

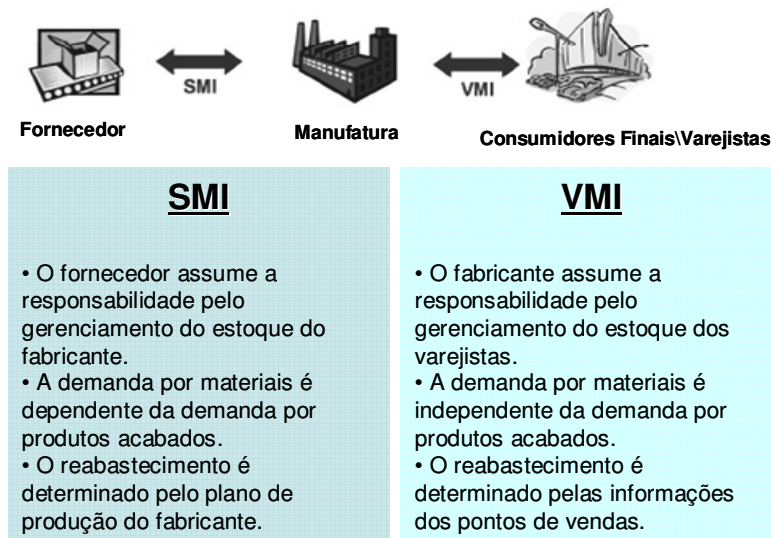


PRR	Quem Decide a Reposição	Como Decide a Reposição	Propriedade dos Estoques	Como o Fornecedor Utiliza os Dados da Demanda
<i>ECR</i>	Fornecedor	Com base na posição de estoque. O nível de reposição é decidido em conjunto	Fornecedor/cliente	Atualizar posição de estoque e modificar nível de reposição em conjunto com varejo
<i>CPFR</i>	Fornecedor	Com base na posição de estoque. O nível de reposição é decidido em conjunto	Fornecedor/cliente	Aprimorar previsão de vendas e sincronização das operações com participação do cliente
<i>JIT II</i>	<i>In-plant</i>	De acordo com o sistema de suporte à decisão do cliente	Fornecedor/cliente	Aprimorar previsão de vendas e sincronização das operações

Tais programas estão fortemente associados ao *VMI* e o *SMI*, objetos de estudo do presente trabalho, e compartilham de um objetivo comum (Sarpola, 2007): promover uma integração e colaboração mais aprofundada entre os membros da cadeia de suprimentos, com o objetivo de enfrentar a necessidade cada vez maior de diminuição do tempo para cumprimentos de prazos de atendimento de produtos e serviços, e as exigências por melhorias da eficiência operacional.

Pohlen e Goldsby (2003) consideram os programas *VMI* e *SMI* distintos, apesar de atestarem que muitas vezes são vistos como sinônimos. Segundo os autores, o *VMI* envolve a gestão coordenada de produtos acabados, fornecidos através de um fabricante, distribuidor ou revendedor para um varejista, enquanto que o *SMI* envolve o fluxo de matérias-primas e/ou componentes de um processo de manufatura.

A figura 02 mostra as principais diferenças entre os dois programas, apontadas por Pohlen e Goldsby (2003):



**Figura 5 - Programas SMI e VMI**

A revisão bibliográfica realizada para a presente pesquisa aponta muitos trabalhos que abordam a filosofia *VMI* sem diferenciá-la do *SMI*, e raros casos em que a relação *SMI* propriamente dita é tratada, sendo que nenhum artigo propondo modelos matemáticos ou de simulação do *SMI* foi identificado. Dessa forma, os dois sistemas serão considerados similares para efeitos de conceitos em gerenciamento da cadeia de suprimentos (GCS) e revisão bibliográfica, sendo consideradas as diferenças apresentadas na figura 05 na aplicação do modelo de simulação desenvolvido na pesquisa. De qualquer forma, ambos os sistemas servem como um passo significativo no sentido de prover uma integração mais ampla da cadeia de suprimentos. A partir desse ponto da pesquisa *SMI* e *VMI* serão tratados sob a nomenclatura *VMI*.

### **3.3. CARACTERÍSTICAS DO *VMI* – *VENDOR MANAGED INVENTORY***

As constantes mudanças dos parâmetros de demanda, qualidade, fornecimento e tempos, causam fortes impactos na cadeia de suprimentos e requerem uma reação rápida e que seja refletida diretamente na gestão e adoção das políticas de planejamento, visando melhorar o nível de serviço aos clientes e otimizar o capital de giro investido através de adequado balanceamento do estoque.

Adotar um modelo de parceria de estoque gerenciado pelo fornecedor (*VMI*) torna-se uma alternativa para minimizar os efeitos negativos das oscilações na demanda. Utilizando o modelo tradicional, no qual os clientes enviam ordens aos fornecedores, ambos acabam por enfrentar problemas em suas operações. Sem possuir informações avançadas ao longo da cadeia, os fornecedores, com o intuito de atender os clientes, utilizam cálculo de previsões, muitas vezes pouco precisos, que fatalmente geram estoques de segurança desnecessários. Além disso, se deparam com mudanças repentinas de demanda no curto prazo, o que leva a freqüentes mudanças em seus planos de produção e entregas, gerando custos adicionais.

A integração através de um sistema *VMI*, apesar de ter sua filosofia introduzida na década de 50, ganhou popularidade no fim dos anos 80, através das empresas Wal-Mart e Proctor & Gamble. Outras empresas também adotaram a iniciativa, obtendo sucesso na implementação e a estratégia de *VMI* passou a ser uma das iniciativas de parceria mais amplamente discutidas para melhoria na eficiência da cadeia de suprimentos. Segundo Whipple e Russel (2007), não só o *VMI*, mas também outras abordagens colaborativas como o *CR* e o *CPFR* surgiram a partir da expansão e adaptação do programa *ECR*, aplicado também ao setor supermercadista. Apesar do sucesso do *ECR* na época de sua implementação, o programa deixa a desejar quanto ao fato de distribuidores, fornecedores, fabricantes e varejistas planejarem suas operações de forma independente (Holmström *et al.*, 2002). Tal lacuna motivou as empresas buscarem programas de colaboração mais robustos que possibilitem uma integração mais profunda da cadeia de suprimentos.

Com a popularização do *VMI*, muitos autores passaram a estudar essa parceria nos últimos anos. Alguns desses trabalhos estão relatados na tabela 04 e foram publicados nos principais periódicos de logística: *International Journal of Logistics Management (IJLM)*, *Journal of Business Logistics (JBL)*, *Transportation Research Part E (TRPE)* e *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management (IJPDLM)*.

**Tabela 3 - Principais publicações sobre VMI. Adaptado de Willians e Tokar (2008)**

<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Modelo</b>	<b>Publicação</b>	<b>Assunto abordado</b>
Waller et al.	1999	VMI	JBL	Utilizam a simulação para avaliar os efeitos das principais variáveis e a robustez do sistema VMI.
Dong and Xu	2002	VMI	TRPE	Avaliam os efeitos do VMI sobre o lucro dos clientes e dos fornecedores.
Smaros et al.	2003	VMI	IJPDLM	Avaliam como o fabricante pode combinar as informações de clientes VMI e clientes não-VMI para aumentar a eficiência operacional.
Pohlen e Goldsby	2003	VMI	IJPDLM	Utilizam a análise EVA (Economic Value Added) para demonstrar os benefícios do VMI.
Disney et al.	2003	VMI	TRPE	Investigam o impacto do VMI sobre as operações de transporte de uma cadeia de suprimentos.
Angulo et al.	2004	VMI	JBL	Examinam os efeitos de informações imprecisas de inventário e atrasos nas informações sobre as decisões de reabastecimento no VMI.
Kaipia et al.	2006	VMI	IJLM	Investigam a conexão entre o planejamento de situações de excepcionais e o efeito chicote numa cadeia regida pela VMI.
Vigtil	2007	VMI	IJPDLM	Identificam quais os dados de demanda são importantes para o fornecedor em uma parceria VMI.
Sari	2007	VMI	IJPDLM	Exploram o desempenho do VMI sobre diferentes níveis de capacidade de fornecimento, incerteza na demanda e lead-time.
Dong et al.	2007	VMI	TRPE	Examinam os fatores determinantes para a adoção do VMI.
Sarpola	2007	VMI	IJPDLM	Propõe uma estrutura de avaliação dos parceiros para adoção do VMI.
Yao e Dresner	2008	CRP, VMI	TRPE	Identificam e comparam os benefícios para fabricantes e varejistas em parcerias CRP e VMI.

O primeiro a abordar a filosofia VMI foi Magee (1958), que a definiu da seguinte maneira: “Ambos (fornecedor e cliente) têm que dividir a responsabilidade e controlar o estoque. Um especifica qual será a demanda máxima e mínima para o produto. O outro tem a responsabilidade de manter níveis adequados de estoque na medida em que a demanda permanece dentro dos limites especificados.” Na adoção do modelo VMI, o cliente deixa de emitir pedidos de compras e passa a compartilhar informações que permitem uma visão mais ampla das posições dos inventários e atividades, tais como utilização do material, nível de inventário e detalhes adicionais (promoções, novos produtos, etc.). Apesar do cliente não mais emitir pedidos, o mesmo passa a ter o compromisso de informar aos fornecedores os limites máximos e mínimos de estoque que deseja ter em seu(s) armazém(s), e os fornecedores passam a ter a responsabilidade de manter os inventários dentro desses limites. Para o fornecedor é vantajoso, pois, ao possuir as informações do cliente, pode programar com maior facilidade sua produção. As informações são encaminhadas eletronicamente contendo dados de consumo e níveis de estoque dos clientes. Para o cliente, o benefício se encontra principalmente na redução dos níveis de estoque e diminuição das rupturas.

Dentre as diferentes definições de VMI encontradas na literatura, utiliza-se para os propósitos do presente trabalho que um sistema VMI é um processo de gerenciamento de inventários colaborativo, baseado na troca bilateral constante de informações, e no qual o fornecedor passa a gerenciar o estoque do cliente e pode

ou não utilizar as informações disponíveis para programar/planejar sua produção, controle de inventários e entregas. Essa definição é mais ampla que as propostas feitas na literatura estudada (Sarpola, 2007; Harrison; Hoek, 2005; Hines *et al.*, 2001; Kaipai *et al.*, 2002; Waller *et al.*, 1999; Lysons; Gillingham, 2003; Boone *et al.*, 2000; Samaros *et al.*, 2003; Disney e Towill, 2003), visto que enfatiza o compromisso da colaboração no gerenciamento dos inventários, a utilização da informação de maneira efetiva na parceria e o objetivo com o qual a informação pode ser utilizada. Dentre as definições menos abrangentes identificadas pode-se citar Boone *et al.* (2000) e Raghunathan *et al.* (2001), que não consideram o compartilhamento de informações no sistema *VMI*, mas que há apenas um monitoramento constante e reposição dos níveis de estoque do cliente pelo fornecedor baseado em acordo prévio. Disney e Towill (2003) consideram o *VMI* como um sistema no qual posições de estoque e taxas de demanda são conhecidas em mais de um elo da cadeia. Em todas as definições estudadas fica evidente o fato de que o processo do *VMI* permite que a etapa de gerenciamento de pedidos pelo cliente seja eliminada, permitindo maior precisão, mais rapidez na disponibilidade e um melhor nível das informações de demanda.

Segundo Kingenberg (2001), o *VMI* possui três características fundamentais: ser automático, baseado na demanda real e gerenciado pelo fornecedor. A seguir serão detalhadas cada uma dessas características:

- Automático - o *VMI* dispensa uma das atividades que mais tomam tempo dos compradores e analistas de estoques: controlar os níveis de inventário de cada item e fazer o pedido quando eles atingirem o seu ponto mínimo. Com o *VMI* o sistema verifica automaticamente os estoques com uma periodicidade pré-determinada e freqüente e sinaliza a necessidade de pedidos de acordo com uma lógica estabelecida. Dependendo do grau de maturidade e confiança do processo, o sistema pode gerar automaticamente os pedidos, sem necessidade de nenhum fluxo de aprovação. O sistema está centrado na troca intensiva de informações. Essa troca é viabilizada pela codificação de produtos e pelo *EDI (Electronic Data Interchange)*. As informações trocadas no processo *VMI* podem variar de acordo com as combinações entre os parceiros. É utilizado um algoritmo que contempla os parâmetros a serem considerados na reposição: níveis de estoque real do cliente, estoque

disponível para consumo, ponto de ressuprimento e quantidade mínima de reposição (Hölmstrom, 1998). Níveis mínimos de estoques ou estoques de segurança e o *lead time* de atendimento do pedido também podem ser utilizados.

- Baseado na Demanda Real: entende-se que o fornecedor pode programar melhor sua produção e entrega se tiver uma maior visibilidade da demanda. Isto ocorre na medida em que esta lógica evita as distorções causadas pelas decisões tomadas por cada membro da cadeia de suprimentos (Holmström, 1998). Quanto mais afastado do consumidor estiver o elo da cadeia de suprimentos, pior será sua visibilidade de demanda.
- Gerenciado pelo fornecedor: no *VMI* o fornecedor possui o poder de decisão de ressuprimento e o cliente detém a posse do inventário. Cabe ressaltar que todas as decisões de reposição tomadas pelo fornecedor estão previamente acordadas com os clientes, o que significa que o *VMI* é muito mais uma técnica conjunta do que específica do fornecedor.

Simchi-Levi *et al.* (2000) consideram que a decisão de reabastecimento é a principal decisão no sistema *VMI* e está diretamente relacionada à posse do inventário. Segundo Sarpola (2007), as decisões de reabastecimento podem ser feitas de duas formas: o fornecedor deve manter os níveis de estoque entre os limites máximo e mínimo acordados ou o cliente informa dados de previsão e o fornecedor gerencia o estoque de acordo com esses dados recebidos. A utilização de dados de previsão torna-se uma alternativa interessante, principalmente na situação de aplicação do *SMI*. Quando a previsão de produção do cliente é precisa e compartilhada, a mesma pode ser utilizada como demanda firme, de forma que todo processo de reposição e planejamento de produção dos fornecedores seja feito de acordo como os conceitos de demanda dependente, o que facilita o gerenciamento da cadeia de suprimentos. Holmström *et al.* (2002) consideram a utilização de previsões muito importante, pois os parceiros necessitam estar aptos a reagir de forma eficiente à mudanças drásticas nas demandas e principalmente se beneficiar de um melhor planejamento de inventário e produção. A solução *VMI* permite que o cliente concentre seu tempo em melhorias de sua produção ao invés de se

preocupar com o gerenciamento de pulmões de estoque para suportar ampliações da demanda.

Um aspecto interessante em relação à posse do inventário é discutido por Hines *et al.* (2001) através da diferenciação entre dominação e colaboração. De acordo com os autores, quando o cliente força que o inventário seja administrado pelo fornecedor, a relação não pode ser considerada como uma verdadeira parceria de *VMI*. A decisão de quem deve ter a posse deve ser baseada na habilidade que possuem o cliente e o fornecedor no gerenciamento e controle do inventário. De uma forma geral, na maioria dos sistemas *VMI* é mais sensato deixar a posse do inventário com o cliente.

Porém, a posse do inventário também pode ser benéfica e até mesmo estratégica para o fornecedor, pois com a posse do inventário, o mesmo pode garantir uma maior disponibilidade de seus produtos ao cliente final ou pode manter produtos mais caros como chamarizes para impulsionar vendas. Outra maneira do fornecedor se beneficiar da posse do inventário é a possibilidade de introduzir novos produtos no mercado, pois os clientes podem optar por não correr os riscos de um produto ainda não consolidado no mercado (Sarpola, 2007).

Em relação às vantagens da implementação do *VMI*, já mencionadas na literatura (Kaipai *et al.*, 2000; Disney e Towill, 2003; Waller *et al.*, 1999; Smaros *et al.*, 2003) podem ser citadas: redução da incerteza da demanda do cliente, redução dos níveis de inventário, redução das rupturas de estoque, aumento da flexibilidade no planejamento de produção e de distribuição e melhoria nos níveis de serviço ao cliente. Claassen *et al.* (2008) consideram que no verdadeiro *VMI*, é dada liberdade ao fornecedor de planejar sua própria produção e a responsabilidade sobre todo processo de reposições (Kaipai *et al.*, 2002), atendendo aos níveis de serviço acordados, o que permite ao fornecedor estabilizar sua produção e otimizar os custos de transporte (Waller *et al.*, 1999). Além da redução significativa dos níveis de inventário, Kaipai *et al.* (2002) mostram que a implementação de um sistema *VMI* torna-se uma oportunidade para mudar a produção da configuração “fazer para estoque” para “fazer sob pedido”. O cliente é beneficiado através da redução de inventários, melhorias no atendimento e diminuição de custos administrativos.

### 3.3.1 Dinâmica de Funcionamento e Parâmetros do sistema VMI

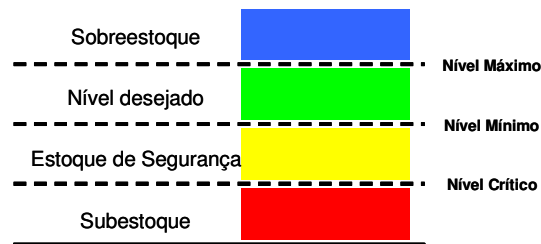
Na pesquisa realizada por Gapski (2003), observou-se que existem várias formas de se definir o modelo de cálculo dos parâmetros de reposição para um sistema *VMI*. Os parâmetros são calculados e atualizados periodicamente, de forma que o controle de estoques seja dinâmico. Esse dinamismo que o sistema deve possuir permite adequar às políticas de planejamento atendendo às mudanças e influências internas e externas nas características de cada item de estoque. A definição do como calcular cada parâmetro depende de cada empresa.

Os principais parâmetros de cálculo do sistema *VMI* são:

- **Estoque Máximo:** é a quantidade limite em que os níveis de estoques podem atingir. Essa quantidade pode ser definida por razões financeiras ou por limite de espaço físico, como é o caso de silos, tanques, pátio, etc.
- **Ponto de Reposição:** é o ponto onde o sistema deve detectar a necessidade de reabastecimento.
- **Estoque Mínimo:** é o nível mínimo desejável para o estoque, sem comprometer a disponibilidade dos produtos. Os níveis de estoques devem ser mantidos entre os níveis mínimos e máximos. O estoque mínimo muitas vezes é adotado como sendo o próprio estoque de segurança, destinado a cobrir eventuais atrasos no suprimento e objetivando a garantia do funcionamento eficiente do processo produtivo, sem o risco de faltas.
- **Estoque de Segurança:** é o estoque adicional necessário para suportar variações na demanda e/ou suprimento.

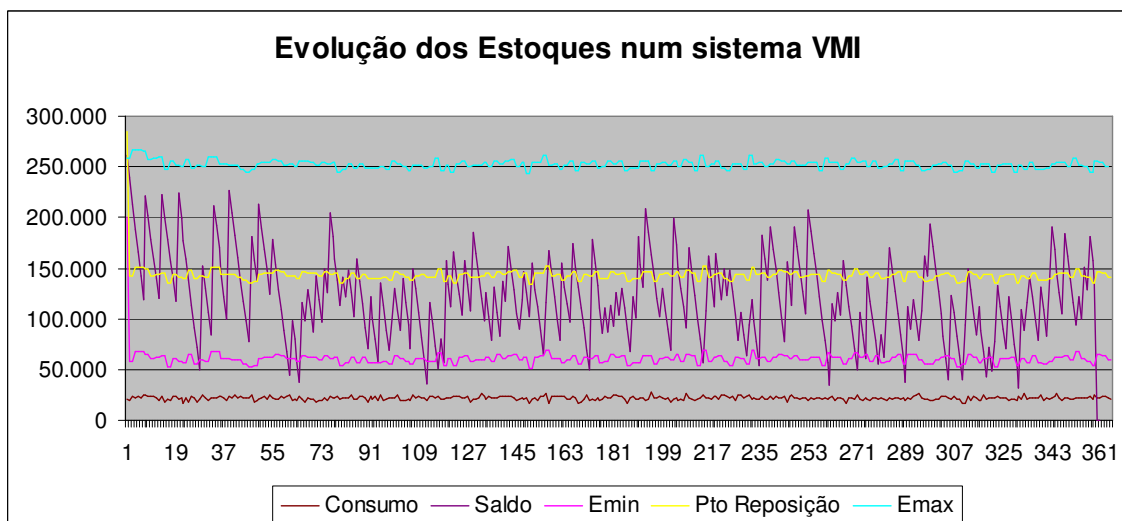
Os níveis de estoque do cliente são atualizados e monitorados diariamente pelo fornecedor e o estoque deve ser mantido entre o nível mínimo e o nível máximo, como pode ser visto na figura 06. Caso o nível atual seja menor que o ponto de pedido, automaticamente os fornecedores iniciam a entrega de lotes adicionais. O lote de entrega é calculado como a diferença entre o estoque máximo e o estoque atual do cliente.





**Figura 6 - Níveis Máximo e Mínimo desejados**

A dinâmica de funcionamento se assemelha à proposta por Waller *et al.* (1999), em que um dos principais benefícios do *VMI* acontece com o aumento das revisões de estoque do cliente pelo fornecedor e maior agilidade no fluxo de informações e materiais. A figura 07, obtida a partir de resultados do modelo piloto, mostra a dinâmica de funcionamento do sistema *VMI*, de acordo com os parâmetros apresentados na figura 06.



**Figura 7 - Evolução dos Estoques num sistema *VMI***

Alguns exemplos de controle de inventário clássicos e que são utilizados em sistemas *VMI* são: Reposição por Ponto de Pedido (PP), Reposição Periódica (RP) e Reposição pela cobertura futura desejada (RC), e serão descritos a seguir. É importante ressaltar que as políticas de controle de estoques adotadas em sistemas *VMI* são idênticas às políticas tradicionais de controle de inventários. O que diferencia o *VMI* das políticas tradicionais, é a forma como as informações são

utilizadas para o cálculo dos parâmetros e a agilidade que se ganha ao transferir a gestão do inventário para o fornecedor. Tais diferenças serão explicadas no capítulo 05.

### Reposição por Ponto de Pedido (PP)

Esse modelo pode funcionar de duas maneiras distintas: revisão contínua ou revisão periódica. A dinâmica é representada na figura 08, e os estoques são revisados continuamente ou a cada R intervalos de revisão. As reposições são feitas assim que os níveis de estoque atinjam valores inferiores ao ponto de pedido. O tamanho do lote de reposição é variável e definido como a diferença entre o estoque atual e o nível máximo. Esse tipo de política é identificada pela nomenclatura (s,S) para a revisão contínua e (s,R,S) para a revisão periódica, em que s indica o ponto de pedido, R o intervalo de revisão e S o estoque máximo, que são os principais parâmetros do sistema.

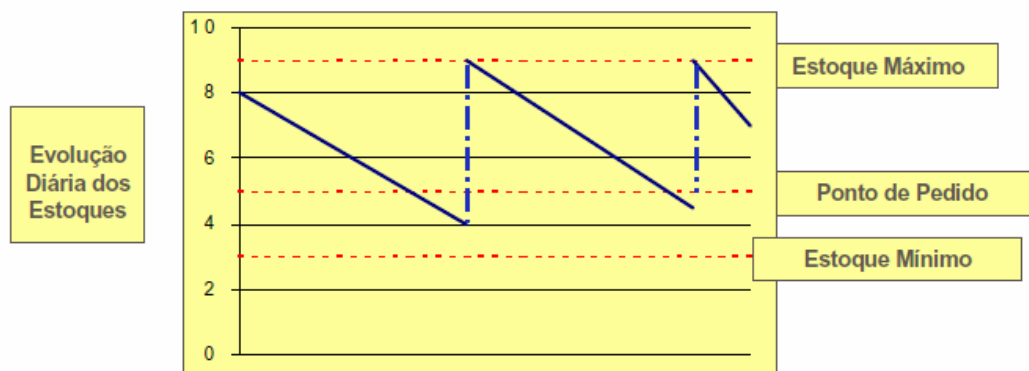


Figura 8 - Modelo de Reposição por Ponto de Pedido. Fonte: Gapski (2003)

O primeiro parâmetro a ser calculado pelo sistema é o estoque de segurança, que para o modelo em questão é igual ao estoque mínimo. A equação 03 é a mesma adotada por Kaipai *et al.* (2002) e Simchi-Levi *et al.* (2003), apenas diferenciando-se pelo fato de Kaipai *et al.* (2002) aproximarem o desvio padrão pela equação 04. Deve-se ressaltar que no caso da revisão contínua, o parâmetro R é igual a zero.

$$ES = E \min = FS \times \sigma \times \sqrt{LT + R} \quad (eq.03)$$

$$\sigma = 1.25 \times MAD \text{ (eq.04)}$$

Em que:

$ES$  – Estoque de Segurança

$E_{\min}$  – Estoque mínimo

$FS$  – Fator de Segurança (determinado de acordo com o nível de serviço desejado)

$\sigma$  – Desvio padrão da demanda ou dos pedidos

$LT$  – tempo de ressuprimento (*lead time*).

$MAD$  – Desvio médio absoluto

Para os casos em que o *lead time* é estocástico e normalmente distribuído, os estoques de segurança podem ser calculados de acordo com as equações 5 e 6, propostas por Simchi-Levi *et al.* (2003) e Peixoto e Pinto (2006), respectivamente. No caso da equação 6, calcula-se o *lead time*, e depois utiliza-se a equação 3 para determinar o estoque de segurança.

$$ES = FS \cdot \sqrt{(LT_{med} \times \sigma^2_{D(LT+R)}) + (D^2_{(R+LT)} \times \sigma^2_{LT})} \quad \text{(eq.05)}$$

$$LT = LT_{med} + (FS \times \sigma_{LT}) \quad \text{(eq.06)}$$

Em que:

$\sigma_{D(LT+R)}$  – Desvio padrão da demanda ou dos pedidos

$D_{(R+LT)}$  - Demanda média durante o lead time mais o período de revisão

$LT_{med}$  – tempo de ressuprimento médio (*lead time*)

$\sigma^2_{LT}$  - desvio padrão do *lead time*

Os parâmetros ponto de pedido e estoque máximo são calculados respectivamente pelas equações 7 e 8. A equação 07 é a mesma proposta por Simchi-Levi *et al.* (2003) e a equação 08 é proposta por Dias (2003).

$$s = E_{\min} + D_{LT} \quad \text{(eq.07)}$$

$$S = E \min + D_{LT+R} \quad (eq.08)$$

Em que:

$s$  – Ponto de Reposição

$D_{LT+R}$  - Demanda média diária durante o *lead time* mais o período de revisão.

$D_{ER}$  - Demanda média entre reposições

$S$  – Estoque máximo

O ponto de reposição também pode ser calculado na forma proposta por Kaipai *et al.* (2002), bastando apenas somar ao estoque mínimo, a previsão de demanda para o período equivalente ao *lead time*.

A quantidade a ser reposta é calculada de acordo com a equação 09, sendo que deve-se entender o estoque disponível conforme equação 10:

$$Q = S - \text{Estoque Disponível} \quad (eq.09)$$

$$\text{Estoque Disponível} = \text{Estoque Atual} + \text{Estoque em Trânsito} + \text{Entregas Programadas} \quad (eq.10)$$

Em que:

$Q$  – Quantidade de reposição

*Estoque Atual* – Nível de estoque atual, disponível para consumo/fornecimento.

*Estoque em Trânsito* – Estoque em Trânsito: Quantidade de estoque embarcada.

*Entregas Programadas* – Quantidade de estoque solicitada, ainda não entregue.

### **Reposição Periódica (RP)**

Nesse modelo, as reposições são feitas a cada R períodos, de maneira que no dia da revisão é disparada uma quantidade de reposição suficiente para repor o estoque atual até o Estoque Máximo, como mostra a figura 09. Da mesma forma como na PP, os lotes de reposição para esse modelo são variáveis. Essa política é

denominada (R,S), em que R é parâmetro de entrada do modelo e indica o período de revisão e S o estoque máximo.

Em relação aos parâmetros Estoque Máximo e Estoque Mínimo, os mesmos são calculados de acordo com as equações 11 e 12. O parâmetro R da equação 11 é o intervalo entre revisões.

$$ES = E \min = FS \times \sigma \times \sqrt{LT + R} \quad (eq.11)$$

$$S = E \min + D_{ER} \quad (eq.12)$$

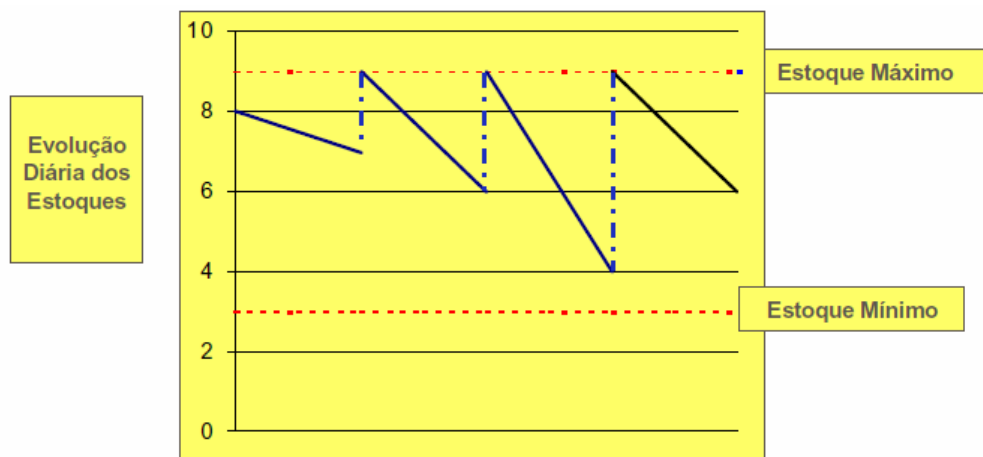


Figura 9 - Modelo de Reposição Periódica. Fonte: Gapski (2003)

### Reposição pela Cobertura Futura (RC)

No modelo de cobertura futura, define-se a cobertura de estoque para atendimento à demanda, ou seja, calcula-se quantidade de estoque suficiente para atender a demanda durante um determinado período. Os parâmetros de estoque são calculados conforme equações 13 e 14 e a dinâmica de funcionamento do modelo está apresentada na figura 10.

$$E \min = C_{vD} \quad (eq.13)$$

$$S = C_{DP} \quad (eq.14)$$

Em que:

$C_{VD}$  – Cobertura de estoque para cobrir variações na demanda

$C_{DP}$  – Cobertura de estoque para atender a demanda num determinado período

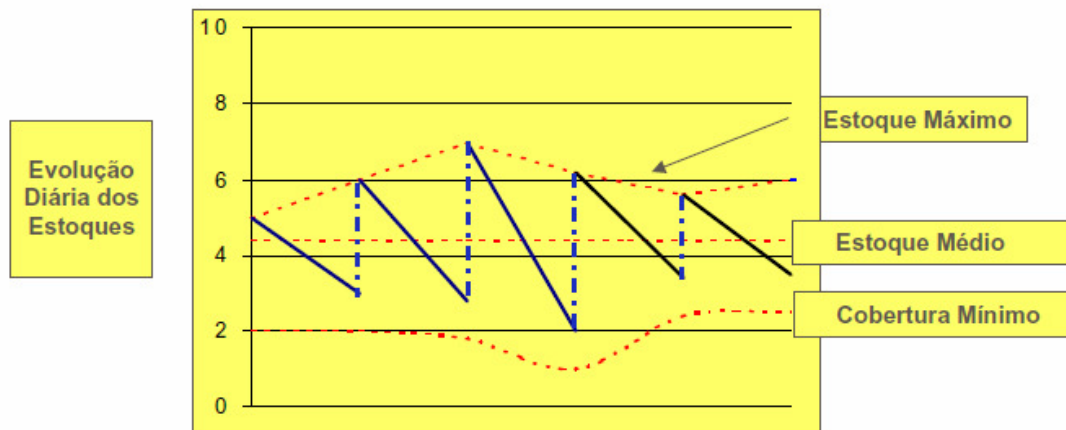


Figura 10 - Modelo de Reposição pela Cobertura Futura. Fonte: Gapski (2003)

A reposição é feita a cada  $R$  intervalos, em que  $R$  nesse caso representa o período de cobertura desejado para o estoque. A quantidade a se reposta é definida na equação 14.

$$Q = D_{ER} + E_{\min} - \text{Estoque Disponível} \quad (\text{eq.14})$$

A política de reposição pela cobertura futura não é muito utilizada nas indústrias do ramo de minério de ferro, sendo mais comum em empresas supermercadistas, que apresentam sazonalidade em grande parte dos produtos, além de sofrer com efeitos advindos da introdução de novos produtos e promoções.

Entendidas as principais características de um sistema VMI, é importante ressaltar que o sucesso do programa depende do devido tratamento de algumas questões chave, que devem ser cuidadosamente analisadas e tratadas (Gapski, 2003):

- Deve existir uma relação comercial estável entre as partes, de forma que não seja necessário renegociar os preços a cada pedido;
- Estabelecer indicadores de desempenho compatíveis com a nova estratégia de suprimento;
- Acuracidade na data de entrega e quantidade dos pedidos;
- Operação logística compatível, de forma que todos os *lead times* da cadeia devem ser respeitados;
- Conhecimento dos custos logísticos de ambas as partes, para facilitar a decisão na definição dos parâmetros do algoritmo de reposição;
- Agilidade da troca de informações, por exemplo, através da utilização de EDI.
- Algoritmo eficiente, flexível e seguro, que calcule as quantidades a serem pedidas ou entregues. Os principais parâmetros são: frequência de pedidos, *lead time*, nível de serviço e estoques.

Além disso, a aplicação do *VMI* pressupõe aspectos da colaboração, tais como: confiança, comprometimento, flexibilidade, reciprocidade, interdependência, troca de informações, etc

Kingemberg (2001) uniu boa parte das questões relatadas acima e desenvolveu um modelo que orienta a implantação de um sistema *VMI*. Tal modelo será apresentado a seguir.

### **3.3.2 Modelo Orientativo de Implantação do VMI**

Kingemberg (2001) propõe um modelo de referência para a implantação do *VMI*. Segundo a autora, a existência de um modelo de referência é uma lacuna que pode ser um dos motivos da pequena disseminação do *VMI* no Brasil. Tal modelo orientativo de implantação, será apresentado a seguir, de forma resumida. O modelo é dividido em cinco etapas:

### **1ª Etapa: Preparação Interna**

O início dessa fase passa pela escolha da Equipe Interna de Implantação, cuja principal função é planejar e coordenar o processo de implantação. Sugere-se uma equipe multidisciplinar, com integrantes dos Departamentos Comercial, Logística, Tecnologia de Informação e Financeiro. A equipe faz a verificação dos processos internos, analisando os sistemas de informação, as funções logísticas, à cultura da empresa, à integração das funções organizacionais, entre outros aspectos. O fruto dessa análise é identificar e modificar os fatores que podem interferir negativamente no processo VMI. Por fim, a equipe dedica-se a preparar os sistemas de informação, verificando as soluções existentes no mercado. Se as ferramentas prontas se demonstrarem vantajosas, o algoritmo será desenvolvido internamente.

### **2ª Etapa: Formação do Sistema**

Nessa etapa, os parceiros são classificados de acordo com o tipo de relacionamento, importância para o negócio, qualidade da gestão dos estoques, níveis de serviços, entre outros. A partir da análise do nível de relacionamento com os parceiros é feita a escolha do parceiro, levando em consideração a estratégia da empresa, capacidade de resolução de problemas em conjunto, estrutura de TI e uma gestão de inventário eficiente.

Escolhido o parceiro, é elaborada uma apresentação da proposta do *VMI*, onde são abordados temas como quantificação dos ganhos potenciais e os papéis e responsabilidades de cada parceiro no processo.

### **3ª Etapa: Preparação do Sistema**

Após o parceiro escolhido concordar com a implantação do VMI, é definida uma Equipe Comum de Implantação, que tem por função elaborar um planejamento e coordenar todas as ações necessárias para a implantação do VMI. Destaca-se a



importância que a equipe deve dar ao treinamento para vendedores e compradores, visto à mudança de processo cultura necessária para o sucesso do projeto.

Para evitar surpresas devido a falhas no novo sistema, nesta etapa também são criados planos alternativos de reposição evitando que ocorram rupturas ou outros problemas. Além disso, para assegurar o bom funcionamento do sistema, também é de extrema importância que a equipe preste o devido cuidado na definição dos documentos e formatação do *layout* (em geral, as empresas têm adotado a troca de dados através do *EDI*) e não deixar de comparar os códigos de barra e preços cadastrados, para evitar lentidão no processo de entrega e recebimento.

Outra atribuição da Equipe é a definição dos parâmetros de reposição, horários de troca de informações, periodicidade de reposição, política de preços e produtos que entrarão no VMI. A definição dos itens que entrarão no processo depende da estratégia das empresas. No entanto, recomenda-se que inicialmente utilize-se uma categoria cuja reposição não seja complexa demais, para assegurar a manutenção do controle do processo até que os ajustes sejam feitos.

Por fim, a equipe define de indicadores de desempenho, visando controlar a implantação e monitorar o desempenho do VMI. Dois indicadores essenciais a serem utilizados são: a cobertura de estoques e índice de rupturas (stockout).

#### **4ª Etapa: Período de Teste**

Antes de iniciar efetivamente a reposição através do VMI, sugere-se que seja feito um período de teste - um Projeto Piloto, no qual utiliza-se um número menor de itens. O período do Projeto Piloto deve ser delimitado e as ocorrências de falhas devem ser identificadas e corrigidas. Deve-se então testar o sistema novamente, até que ele esteja funcionando em sua plenitude.

#### **5ª Etapa: Início da Reposição através do VMI**

Assim que o período de teste encerrar, deve-se partir para o início da operação efetiva do VMI. O tempo de teste dependerá de aspectos relacionados à

estratégia das empresas, bem como das percepções da equipe durante o desenvolvimento do projeto. Baseado nos argumentos propostos por Simchi-Levi *et al.* (2000), sugere-se que nos estágios iniciais de implementação de um sistema *VMI*, as ordens de reabastecimento feitas pelo fornecedor sejam inicialmente aprovadas pelo cliente. À medida que se percebe o amadurecimento dos novos processos e se estabeleça a confiança e o uso das informações, pode-se eliminar a interferência do cliente no fluxo de reabastecimento.

É importante ressaltar a importância de um programa de treinamento e conscientização eficaz para vendedores e compradores, de forma que todos estejam aptos a operar o novo sistema de reposição. Na data de transição para o *VMI*, o sistema tradicional de abastecimento será 'desligado' e substituído pelo novo modelo de reposição.

Deve-se definir uma periodicidade para que sejam feitas avaliações de desempenho do sistema pelas empresas parceiras. Nessas reuniões, além do desempenho, são analisadas falhas e propostas melhorias em conjunto para solução dos problemas.

O modelo proposto por Kingenberg (2001) mostra-se bastante útil como orientação para implantação de um projeto *VMI*. Entretanto, deve-se chamar atenção para a necessidade de se estabelecer um processo pós-implantação, que garanta a melhoria contínua do sistema e que permita a perenizar os resultados obtidos durante o projeto no médio e longo prazo.

Apesar dos benefícios conhecidos do *VMI*, muitas empresas têm recentemente enfrentado algumas dificuldades na implementação, medo de perder o controle do sistema e falta de confiança entre os parceiros. Tais aspectos críticos de implementações, barreiras, sucessos e fracassos serão tratados a seguir.

### **3.4. FATORES CRÍTICOS, BARREIRAS, SUCESSO E FRACASSO EM IMPLEMENTAÇÕES VMI (VANTAGENS E DESVANTAGENS)**

Apesar de cada abordagem de integração possuir suas próprias características, os requerimentos necessários para a efetividade da parceria passam primeiro pela necessidade das empresas possuírem interesses comuns. Sem que

haja interesse mútuo, a parceria pode entrar na direção do fracasso. Além disso, é de extrema importância a adoção de políticas integradas, medidas de desempenho apropriadas, compartilhamento de informações e alinhamento. Na relação, os parceiros devem demonstrar um para o outro que possuem intenção e motivação para a colaboração de modo que todos sejam beneficiados na relação (Ganeshan, 1994; Doney, Cannon, 1997). O sucesso da integração fica comprometido quando os parceiros possuem as seguintes características (Lewis, 1997):

- Negociam somente preço.
- Não cumprem as promessas.
- Mentalidade de negociação de curto prazo.
- Equipes multifuncionais com baixo desempenho.
- Falhas geram penalidades e não a busca conjunta pela solução.
- Contratos detalhados com pouco espaço para mudança.
- Sem incentivo aos fornecedores.
- Pouco compartilhamento de informações.
- Nenhum processo de administração conjunta.

Os aspectos citados estão relacionados à cultura na qual sempre uma parte ganha e a outra perde em uma relação comercial. A adoção de um sistema como o *VMI*, necessita uma mudança de mentalidade por parte das empresas para estabelecer parcerias nas quais ambas as partes possam aumentar o valor de seus negócios. Os aspectos da confiança e credibilidade aparecem como fatores chave para o sucesso em sistemas *VMI*, pois aumenta a visibilidade de informações estratégicas e críticas dos parceiros. Nesse sentido, Claassen *et al.* (2008) apontam tais aspectos e a troca de informações como fatores críticos para o sucesso de implementação do *VMI*. Para Whipple e Russel (2007) confiança refere-se a como os parceiros percebem os outros em relação à credibilidade e boa vontade. A credibilidade reflete o quanto uma empresa acredita que seu parceiro possui capacidade técnica para engajar na parceria de forma eficaz, enquanto que a boa vontade acontece quando uma empresa acredita que seus parceiros realmente

possuem intenção e motivação que promovam os benefícios da parceria (Ganesan, 1994).

A falta de confiança entre os parceiros quanto à troca de informações é discutida em muitos estudos relacionados a parcerias de integração (Boone *et al.*, 2000; Barrat (2004); Claassen *et al.*, 2008; Peterson *et al.*, 2005; Whipple, Russel, 2007). Muitas vezes a falta de confiança aparece por que normalmente muitas empresas fabricantes vendem seus produtos a vários varejistas que competem diretamente entre si e esses mesmos varejistas vendem seus produtos a outros fabricantes que também competem entre si. Se todas essas empresas compartilharem informações estratégicas e trabalhassem baseados nas mesmas previsões, certamente aumentará a possibilidade de vazarem informações cruciais, mesmo que de forma não intencional (Thron *et al.*, 2006). Os autores afirmam que tal fato é um dos motivos pelos quais percebe-se na prática que implementações de sucesso do *VMI* acontecem quando participam um número limitado de participantes que possuem objetivos comuns.

A recomendação prática para evitar esse tipo de problema é que parcerias devem ser adotadas com um número limitado de associados estratégicos, ao invés de uma abordagem que envolva todos fornecedores e clientes em um sistema global (Thron *et al.*, 2006). A associação com parceiros estratégicos deve ser baseada em contratos de longo tempo que permitem ambas as partes trabalharem junto para atingir objetivos comuns. Baseado nesse argumento é que o presente trabalho utiliza uma forma de avaliação dos fornecedores que permita identificar aqueles aptos a participar do sistema *VMI*, além de possibilitar levantar os pontos que devem ser investidos esforços para possibilitar a parceria, evitando desde o início possíveis falhas que levem o fracasso da implantação.

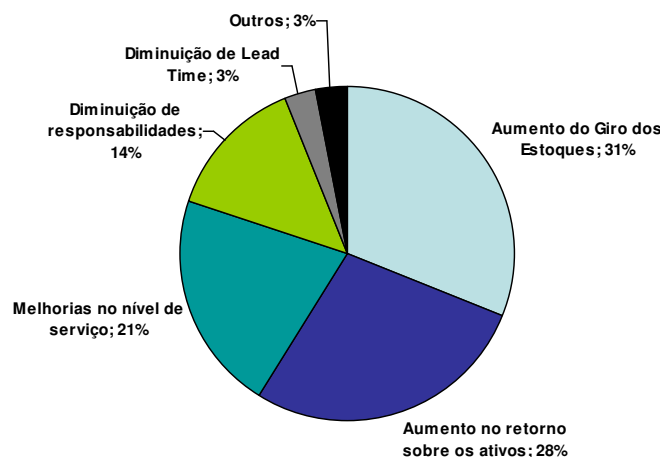
A implementação de sistemas *VMI* vem se mostrando mais difícil e complexa em relação ao originalmente pensado, principalmente devido à falta de processos que integrem as informações adicionais providas pelo *VMI* ao processo de tomada de decisões (Angulo *et al.*, 2004). Em muitos casos, o processo do *VMI* acaba após um “pedido *VMI*” ser disparado no sistema, não sendo utilizadas as informações disponíveis para melhorias da eficiência produtiva. Smaros *et al.* (2003) citam alguns trabalhos que apontam dificuldades e fracassos na implementação de sistemas *VMI*: Vergin e Barr (1999), Cooke (1998) e Lapidé (2001). Ambos estudos indicam que poucas empresas conseguiram efetivamente realizar melhorias em seu processo de

produção e controle de estoques e que algumas têm desconfiado dos benefícios do *VMI* e até mesmo recuado em sua utilização. Uma explicação possível para tal fato é que as empresas ainda não estão gerencialmente preparadas para ligar as informações de demanda ao seu programa de produção e controle de inventários.

Incertezas quanto aos benefícios potenciais do *VMI* também são apontados por Kaipai *et al.* (2002), que recomendam o fabricante se esforçar em demonstrar a seus parceiros as vantagens em adotar o *VMI* e por Dong *et al.* (2007) cujo trabalho mostra que algumas implementações decepcionaram quanto aos resultados obtidos. Um estudo feito por Aichlmayr (2000) a partir de entrevistas com executivos da área de Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, mostra que de 30-40% das implementações *VMI* atingem grandes benefícios, 30-40% conseguem alguns benefícios, mas não tanto quanto esperado inicialmente e 20-30% não geram nenhum resultado.

Em 2003, a *ESCA (Eletronic Supply Chain Association)* publicou os resultados de um survey feito com 60 empresas da indústria eletrônica. O relatório mostra pontos críticos que servem como orientação para iniciantes em sistemas *VMI*: impactos de se adotar a prática, principais áreas de adoção, como os contratos estão sendo estruturados, os obstáculos enfrentados, fatores críticos de sucesso e recomendações de melhorias.

Segundo a *ESCA*, as principais motivações que levam as empresas optarem por aderir uma parceria do tipo *VMI* são relatadas na figura 11:



**Figura 11 - Motivação para adoção ao VMI**

Ainda de acordo com o estudo da ESCA, os fornecedores só aderem ao *VMI* por que é uma demanda/exigência feita pelo cliente, pois do contrário, poucos optariam por participar de um sistema *VMI*.

Apesar de a afirmação de que o *VMI* é bom para os clientes e ruim para os fornecedores não ser definitivamente respondida no estudo, mostra-se que clientes e fornecedores obtiveram ganhos com aumento nos níveis de serviço e redução de lead times. Claassen *et al.* (2008) mostram que o *VMI* ajudou os fornecedores a garantir suas vendas e em alguns casos aumento na margem de lucro e diminuição em custos de transportes. Para os clientes, foram observadas melhorias nos níveis de serviço, diminuição de pedidos emergenciais e erros em pedidos, avanços no controle da cadeia e reduções em custos de transporte e de inventário. Cheng *et al.* (2001) mostram que os maiores benefícios do *VMI* são percebidos pelo fabricante, e que o mesmo deve tomar a iniciativa para implantar a parceria, oferecendo aos fornecedores/varejistas incentivos (dividir custos logísticos, garantia de estabilidade de fornecimento, contratos de longo prazo, etc) para convencê-los aderir ao *VMI*.

No caso de fornecedores exclusivos ou que possuam tecnologias críticas, os mesmos podem negociar termos e condições razoáveis nos contratos, ou até mesmo recusar-se a participar do sistema *VMI*.

Um estudo para investigar os resultados obtidos em sistemas *VMI*, fatores alavancadores e o projeto em si desses sistemas foi realizado por Claassen *et al.* (2008), onde os autores focaram assuntos como controle, informação, relação cliente-fornecedor, sistemas de TI e resultados obtidos com o *VMI*. São definidos por Claassen *et al.* (2008) 4 fatores alavancadores de um sistema *VMI*: qualidade de TI; qualidade da informação; compartilhamento de informações e qualidade da parceria. Dos quatro fatores, apenas a qualidade da informação não é significativa para o sucesso de um sistema *VMI*. Essa afirmação contrapõe alguns estudos (Kaipai *et al.*, 2002; Cachon e Fisher, 2000; Smaros *et al.*, 2003; Waller *et al.*, 1999), que consideram o alto nível de erros e distorções nas informações dos níveis de inventário e de demanda como uma das principais barreiras para o aumento da eficiência e diminuição de atrasos do sistema, ocasionando perdas de reposição e rupturas de estoque, porém, está de acordo com Angulo *et al.* (2004), os quais afirmam que o *VMI* pode ser benéfico, principalmente para o fabricante, ainda que exista imprecisão nas informações compartilhadas. Claassen *et al.* (2008) concluem

em seu estudo que os benefícios obtidos em implementações VMI são percebidos primariamente em relação a melhorias nos níveis de serviço, depois no controle da cadeia de suprimentos e por fim, em reduções de custos. Além disso, a pesquisa mostrou que sistemas VMI podem ser implementados em diversos tipos de produtos e padrões de demanda, variando o projeto do sistema de acordo com cada situação. Por exemplo, no caso de produtos estratégicos, percebeu-se o alto grau de envolvimento e interesse de disponibilização de informações por parte do cliente. Já nos casos de produtos comuns, os clientes preferem que o fornecedor assuma a responsabilidade total, com o mínimo de envolvimento necessário por parte do cliente. Outros aspectos importantes encontrados na prática dizem respeito à faixa muito estreita entre os níveis máximos e mínimos acordados, o que diminui a flexibilidade de reabastecimento do fornecedor; necessidade de padronização na identificação dos produtos; integração dos sistemas de informação e relutância entre as partes quanto à troca de informações (Kaipai *et al.*, 2002).

Em função do descrito na secção, a tabela 04 mostra uma síntese dos pontos discutidos.

**Tabela 4 - Fatores críticos, barreiras, sucesso e fracasso em implementações VMI**

<b>FATORES</b>			
<b>Críticos</b>	<b>Barreiras</b>	<b>Sucessos</b>	<b>Fracassos</b>
Compartilhamento, disponibilidade, confiabilidade, precisão, facilidade de acesso e consistência das informações	Falta de preparo em conectar informações de demanda ao seu programa de produção e controle de inventários	Melhorias nos níveis de serviço, diminuição de pedidos emergenciais e erros em pedidos, avanços no controle da cadeia e reduções em de inventário	30-40% conseguem alguns benefícios e 20-30% não geram nenhum resultado
Confiança	Falta de processos que integrem as informações	Melhorias nos níveis de serviço, depois no controle da cadeia de suprimentos e por fim, em reduções de custos	Faixa muito estreita entre os níveis máximos e mínimos acordados
Credibilidade	Incertezas quanto aos benefícios potenciais do VMI	Aumento nos níveis de serviço e redução de lead times	Relutância entre as partes, quanto à troca de informações
Benevolência	Possibilidade de vaziar informações cruciais	Garantia de vendas, aumento na margem de lucro e diminuição em custos de transportes	Pouco interesse para produtos comuns
Qualidade de TI	Alto nível de erros e distorções nas informações	30-40% das implementações VMI atingem grandes benefícios.	Baixa frequência de interação
Qualidade da parceria	Padronização na identificação dos produtos	Número limitado de associados estratégicos	Aderência ao VMI por demanda/exigência do cliente
Qualidade da informação Claassen et al (2008)	Fornecedores exclusivos ou que possuam tecnologias críticas	Maior interesse para produtos estratégicos	

A seguir será tratado o compartilhamento de informações, que é um fator de extrema relevância para um sistema *VMI*.

### **3.5. COMPARTILHAMENTO DE INFORMAÇÕES**

Ganeshan *et al.* (1998) classificam o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos em 3 perspectivas gerais: Estratégia competitiva, Táticas focadas da empresa e eficiência operacional. O compartilhamento de informações, de acordo com essa classificação, está endereçado em pesquisas de Eficiência operacional, mais especificamente na subcategoria Compartilhamento de Informações, coordenação e monitoramento, que, segundo os autores, tipicamente refletem decisões diárias e semanais na operação da cadeia. O compartilhamento de informações é definido como esquemas específicos para coordenação e controle na troca de dados necessária para uma operação eficiente da cadeia de suprimentos. Por fim os pesquisadores afirmam que as empresas estão aptas a compartilhar informações, principalmente pelo fato de que os custos com TI reduziram drasticamente, mas que ainda carecem estudos quantitativos que comprovem o valor de trocar informações.

A troca de informações entre as empresas está influenciando o relacionamento entre as organizações, permitindo cada vez mais a adoção de abordagens de integração. Segundo Vigtil (2007), existem 3 principais formas de compartilhamento de informações: Integração total, como acesso a dados eletrônicos e trocas de informações online; Compartilhamento eletrônico integrado baseado em atualizações periódicas, com atualização automática quando ocorre a transmissão; Compartilhamento eletrônico não-integrado baseado em atualizações periódicas, com atualização manual das informações no sistema. Para o modelo de simulação desenvolvido será considerada atualização periódica dos dados, uma vez ao dia. Isso por que os apontamentos de consumos de matérias-primas da empresa são consolidados no início de cada dia. Além disso, atualizações em tempo real consomem muito tempo de processamento, podendo gerar congestionamento da rede sem gerar benefícios para o sistema. O tipo de conhecimento compartilhado, explícito ou tácito, também é importante nas definições de troca de informações. O



conhecimento explícito refere-se a informações transacionais que podem ser articuladas e codificadas, sendo facilmente transmitidas, como por exemplo, dados de vendas. Em relação ao conhecimento explícito compartilhado, os mais comuns identificados foram: níveis de estoques, previsões de demanda, planejamento de produção e atividades promocionais (Vigtil, 2007).

O conhecimento tácito é mais complexo, envolvendo aspectos como contexto social, expertises adquiridas ao longo do tempo e, caracterizado pela dificuldade de verbalizar (Whipple; Russel, 2007). A troca de conhecimento tácito é apontada como o mais alto grau de confiança em parcerias colaborativas.

O compartilhamento de informações é visto por Lee *et al.* (1998) como um elemento facilitador de um melhor planejamento e coordenação da cadeia de suprimentos. Daugherty *et al.* (1999) o consideram como a base de sistemas colaborativos, possibilitando tornar o gerenciamento do inventário mais eficiente. Raghunathan e Yeh (2001) provam ser possível obter vantagens para ambos os elos da cadeia (fabricantes-varejistas). Os varejistas são beneficiados pela reposição contínua e os fabricantes tanto por esta quanto pela melhoria das previsões. Os mesmos autores afirmam que o compartilhamento de informações é benéfico, mesmo quando se trata de produtos relativamente novos e produtos com alta variabilidade na demanda, mas que, na medida em que a variabilidade da demanda aumenta, o efeito da troca de informações diminui, sendo necessário um processo de reabastecimento robusto e em tempo-real.

O principal efeito da falta de compartilhamento de informações ao longo da cadeia, é o aumento das distorções na demanda, que segundo Lee *et al.* (1997) e Cheng *et al.* (2001), aparecem devido à pouca visibilidade que os elos da cadeia têm dos consumos reais dos produtos. Nas relações comerciais tradicionais, as empresas comunicam informações de demanda exclusivamente sob a forma de ordens. Uma vez que os pedidos de reposição são feitos baseados em um conjunto de informações e conjecturas sob o ponto de vista do comprador, muitas vezes as informações transferidas tendem a ser distorcidas e podem confundir os parceiros a montante em relação ao seu planejamento de inventário e decisões de produção. A distorção adiciona incertezas no processo de atendimento de pedidos e previsão da demanda, prejudicando a eficiência da cadeia de abastecimento sob a forma de excesso de inventário, compras não programadas de suprimentos, custos adicionais

de produção, utilização ineficiente e horas extras, despesas de armazenagem em excesso e baixo nível de serviço ao cliente (Lee *et al.*, 1998).

Tais distorções causam o surgimento do “Efeito Chicote”, inicialmente estudado por Forrester (1961), que mostrou o aumento da volatilidade da demanda à medida que os pedidos se propagam ao longo da cadeia. Lee *et al.* (1999) mostram que a troca de informações reduz a variação na demanda do fornecedor e conseqüentemente diminuição do “Efeito Chicote”. A centralização das informações de demanda é vista por Boone *et al.* (2001) como uma forma de todos os pontos da cadeia reagirem ao mesmo tempo, o que também contribui para a redução do “Efeito Chicote”. A descentralização das informações pode fazer com que a cadeia de suprimentos não atinja o desempenho ótimo esperado, embora cada membro individualmente busque aperfeiçoar seu processo (Cheng *et al.*, 2001).

Para minimizar as conseqüências da incerteza na demanda, as empresas têm basicamente duas opções: aumentar os níveis de estoque ou implementar processos e sistemas, como o VMI, de maneira que as informações sobre a demanda possam fluir ao longo da cadeia. A adoção do VMI é analisada por Disney e Towill (2003) em relação às 5 principais causas do “Efeito Chicote”: *lead times* diferentes de zero, flutuações em preços, processo de previsão de demanda, jogo do racionamento e falta e pedidos em lotes. Nos estudo é demonstrado que os efeitos de flutuações na demanda devido às causas jogo do racionamento e falta e pedidos em lotes são totalmente eliminados com o VMI e que o impacto dos outros fatores também é reduzido. Tais benefícios são alcançados devido à mudança da natureza da relação entre os parceiros e pela mudança da estrutura do fluxo de informações. Também relacionado ao VMI, Cheng *et al.* (2001) avaliam os benefícios da troca de dados em uma cadeia de 2 elos, considerando 3 níveis de trocas de informações, sendo que no último nível, de controle centralizado, o VMI pode ser adotado. Os autores mostram que tanto inventários quanto custos podem ser reduzidos para fabricantes e varejistas na medida em que se aumenta o nível de troca de dados.

Apesar dos potenciais benefícios advindos do compartilhamento de informações, para que se consiga atingir os resultados esperados, alguns cuidados devem ser tomados em relação à precisão das informações e ao atraso no uso das mesmas pelas partes envolvidas. A imprecisão das informações (erros de previsão, diferenças de inventários, etc) prejudica o cliente e o atraso com que as informações

compartilhadas são utilizadas pelo fornecedor prejudica o próprio fornecedor (Whipple *et al.*, 2002). A fragilidade na precisão das informações pode ocasionar a perda de confiabilidade do sistema *VMI*, de maneira que o sistema passe a funcionar como uma cadeia de suprimentos tradicional (Sarpola, 2007). Mesmo em situações onde os dados sejam confiáveis, existe outro problema que muitas vezes minimiza os ganhos possíveis. Lee *et al.* (1998) afirmam que as empresas devem desenvolver a capacidade de utilizar as informações compartilhadas de maneira eficiente. Muitas empresas possuem, por exemplo, dados reais de consumo, mas não sabem como utilizá-las para melhorar a previsão da demanda.

### **3.5.1 O Papel da TI no compartilhamento de informações**

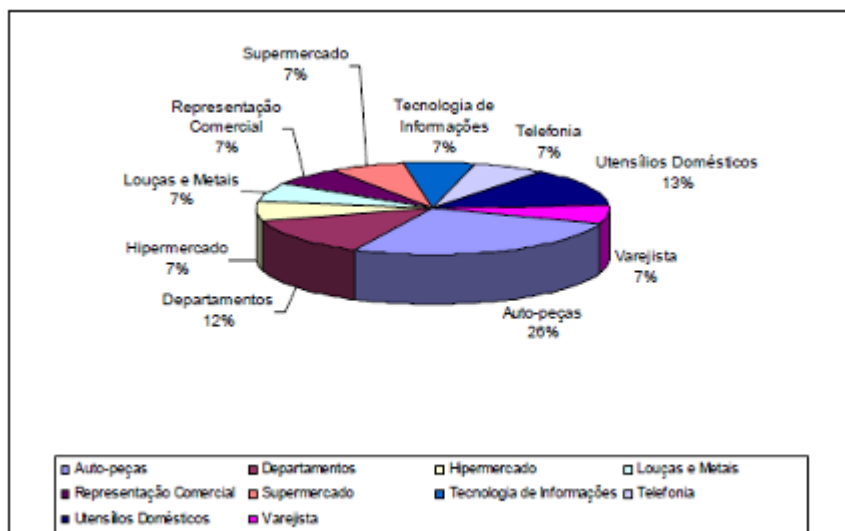
A viabilização da troca de dados depende fundamentalmente de recursos de Tecnologia da Informação (TI), cujo papel em sistemas *VMI* é, segundo Simchi-Levi *et al.* (2003): disponibilizar a informação; acesso às informações em um ponto de acesso comum; permitir decisões baseadas em informações de toda a cadeia; e permitir a colaboração entre os parceiros. Vitgil (2007) argumenta que a integração eletrônica e a transferência automática de dados oferecem grandes oportunidades de melhoria na eficiência dos processos de integração.

Para possibilitar o compartilhamento de informações e conseqüentemente o sucesso do sistema *VMI*, Simchi-Levi *et al.* (2003) argumentam ser necessário que ambas as partes envolvidas possuam sistemas de informações avançados, por exemplo, com a utilização de *EDI* (*Electronic Data Interchange*). Com um ponto de vista um pouco diferente, Waller *et al.* (1999) apontam a importância do uso de plataformas de computadores, tecnologia de comunicação (*EDI*), identificação de produtos (ex. código de barras, *RFID*, etc) e sistemas rastreáveis, mas afirmam que essas condições são facilitadores e não pré-requisitos para a implantação de um sistema *VMI*. Como exemplo disso pode-se citar Holmström *et al.* (1998), que descrevem um caso de aplicação do *VMI* em que a comunicação é baseada em fax, email e relatórios. Waller *et al.* (1999), sugerem que sejam feitos investimentos em sistemas de informações após a comprovação dos benefícios em projetos-piloto.

Além disso, no caso de parcerias em que poucas SKU's são transacionadas, a importância dos sistemas de informações torna-se menos relevante.

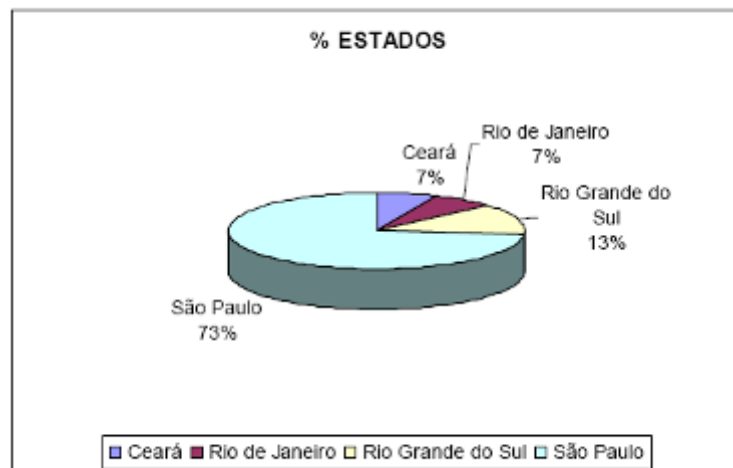
Segundo Prates e Gallão (2007) o uso do *EDI* em diversas organizações internacionais e nacionais já uma prática corrente. Essas organizações que já operam via *EDI*, confirmam cada vez mais que a tecnologia veio trazer-lhes uma maior qualidade de procedimentos e maior competitividade de mercado, visto que o *EDI* permite a transferência de "dados estruturados" que podem ser processados de forma eficaz e não ambígua por aplicações informáticas.

Em termos de utilização do *EDI* no Brasil, Prates e Gallão (2007) fizeram um levantamento do panorama situacional dessa tecnologia no país e o perfil dos mercados que a utilizam entre os anos de 2003 e 2004. O estudo apontou que o uso da tecnologia predomina nas empresas de auto-peças com cerca de 26%, conforme figura 12.



**Figura 12 - Ramo das empresas que adotaram o EDI. Fonte: Prates e Gallão (2007)**

Dentre os Estados onde as empresas mais utilizam EDI, destaca-se São Paulo, que concentra 73% que adotam a tecnologia, conforme figura 13.



**Figura 13 - Porcentagem de adoção do EDI por Estado. Fonte: Prates e Gallão (2007)**

Os dados apontados na figura 13 mostram que no setor de minério de ferro ainda não se utiliza o *EDI* para parcerias colaborativas. Nesse tipo de indústria, o *EDI* vem sendo implementado a partir de 2006, sendo utilizado através de um portal de comunicação com fornecedores apenas para transações comerciais, tais como envio de pedidos de compras, cotações, confirmações de aceite de pedidos e avisos de embarque, como é o caso da empresa estudada. Na presente pesquisa será considerado no modelo do *VMI* o uso do *EDI*, visto que a empresa possui o *ERP* SAP R/3, capaz de enviar e receber informações nesse tipo de tecnologia.

Além do *EDI*, a utilização de tecnologias mais avançadas tais como o *RFID* em conjunto com sistemas *VMI* (Willians; Tokar, 2008), disponibiliza informações adicionais que permitem maior visibilidade ao longo da cadeia e conseqüentemente, um melhor gerenciamento dos níveis de inventário. As informações disponibilizadas pelas etiquetas de rádio freqüência no *RFID* possibilitam algumas vantagens, tais como: a contagem instantânea de estoque, facilitando os sistemas empresariais de inventário, precisão nas informações de armazenamento e velocidade na expedição, localização dos itens ainda em processos de busca, e melhoria no reabastecimento com eliminação de itens faltantes e aqueles com validade vencida (Bernardo, 2004).

Apesar de muitos estudos sobre os efeitos e benefícios do compartilhamento de informações, percebe-se na literatura que a maioria dos autores consideram que todas as informações estão disponíveis a todos integrantes da cadeia de suprimentos e a qualquer momento. Sabe-se, entretanto, que o compartilhamento

total das informações não acontece na prática, de maneira que recentemente surgiram alguns trabalhos abordando aspectos do nível de visibilidade das informações para diferentes integrantes da cadeia, além de estruturas e tipologias que permitam avaliar qual nível de colaboração que se deseja para cada parceiro na cadeia. Tais assuntos serão abordados nas próximas secções.

### **3.6. EFEITO DO AUMENTO DA VISIBILIDADE EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS**

Segundo Thron *et al.* (2006), a maioria das pesquisas sobre GCS adotam a situação ideal onde o fabricante se integra, através de alguma parceria, com todos seus parceiros. Essa situação ideal não condiz com a realidade das empresas, visto que aspectos relacionados à custos, dificuldade de implantação, medo de abrir mão do controle do processo, falta de confiança e disponibilidade de recursos de TI, muitas vezes impedem que a parceria seja estabelecida com todos integrantes da cadeia. Tais aspectos, conforme mencionado anteriormente, fazem com que na prática as empresas adotem parcerias com apenas uma parte de seus parceiros comerciais. Nesse sentido, aparecem algumas questões que devem ser avaliadas: Qual o efeito do aumento da visibilidade, ou seja, do aumento do número de participantes *VMI* sobre o desempenho da cadeia como um todo? Quais parceiros devo escolher para aderir ao *VMI*?

Em relação à primeira questão, de acordo com a literatura pesquisada, os principais estudos sobre o aumento da visibilidade em cadeias de suprimentos foram realizados por Waller *et al.* (1999), Kaipai *et al.* (2002), Smaros *et al.* (2003), Thron *et al.* (2006) e Classen *et al.* (2008). Tais autores, exceto Kaipai *et al.* (2002), utilizam a simulação, assim como no presente trabalho, para avaliar desde sistemas com compartilhamento parcial de informações até parcerias com total transparência e visibilidade na integração.

Waller *et al.* (1999) usam a simulação de uma cadeia de suprimentos para avaliar a taxa de participantes aderidos ao *VMI* estritamente em relação à níveis de inventário, cujo sistema *VMI* está focado no aumento da frequência de reposições e revisões de inventário. Smaros *et al.* (2003) também utilizam a técnica de simulação para mostrar como o aumento da visibilidade da cadeia pode afetar o planejamento

de produção e controle de inventários. Uma das limitações do estudo de Smaros *et al.* (2003) deve-se à utilização de cenários com demanda conhecida e estável, não considerando tipos de demandas não-estacionárias mais complexas. Os autores descobriram que os benefícios da visibilidade da cadeia dependem significativamente da frequência de reposição e do tempo de ciclo do plano de produção. Thron *et al.* (2006) utilizam as idéias de Waller *et al.* (1999) e Smaros *et al.* (2003) e propõe um modelo de simulação para analisar métricas de pedidos atendidos e nível de serviço em parcerias do tipo *CPFR/VMI*, considerando níveis de inventários constantes para todos os membros de uma cadeia de suprimentos, composta por 2 fabricantes e 4 Centros de Distribuição (CD). Destaca-se no artigo, a avaliação dos impactos e mudanças sofridas pelos CD's não adeptos ao sistema de colaboração. No caso de apenas um CD participante do *CPFR/VMI*, os demais ficam prejudicados com pioras nos níveis de serviço, aumento de custos e menos oportunidades de entregas. Para o caso em que 75% dos CD's são adeptos ao sistema colaborativo, o participante remanescente é beneficiado pelo aumento global da visibilidade da demanda, obtendo melhorias na produção e planejamento de entregas. Tais resultados estão de acordo com os encontrados por Kaipai *et al.* (2002), cujo estudo mostra que mesmo os clientes dos fornecedores não aderidos ao sistema acabam sendo beneficiados. Mesmo com a visibilidade parcial da cadeia de suprimentos, o fornecedor consegue melhorias em seu plano de produção, o que acaba aumentando o nível de serviço das entregas em toda a cadeia. Com uma visão um pouco diferente, cita-se Classen *et al.* (2008), cujo estudo mostrou ser necessário implementar o sistema com vários clientes para que os fornecedores possam utilizar o sistema *VMI* para melhorias em planejamento da capacidade e Holmström *et al.* (2002), afirmando que no caso do *CPFR*, para que se consigam resultados expressivos, a implementação deve acontecer com um grande número de parceiros da cadeia de suprimentos.

Sabendo-se da dificuldade muitas vezes encontrada para que se consiga 100% de visibilidade na cadeia, as empresas devem planejar suas operações de forma que possam ser atendidas de forma eficiente por fornecedores aderidos e não aderidos. Aumentar a visibilidade da cadeia de suprimentos, ou seja, ampliar a base de fornecedores e/ou clientes adeptos à colaboração, é considerado por Smaros *et al.* (2003) como o maior desafio das empresas que implementaram sistemas *VMI*. Mais do que a adesão de novos parceiros, as empresas devem ter habilidade para

adequar seu planejamento de produção e controle de inventário ao dispor de maior visibilidade da demanda na medida em que mais parceiros aderem ao programa.

A segunda questão levantada no início desta secção refere-se a quais parceiros escolher para aderir ao *VMI*. Conforme tabela 04, dentre os principais artigos sobre *VMI*, apenas os autores Sarpola *et al.* (2007) abordam aspectos relacionados à critérios de escolha de quais parceiros devem participar do sistema. Em relação à presente pesquisa, tal artigo servirá como base para propor uma estrutura que permita avaliar e classificar as condições atuais de cada parceiro em relação à adoção do *VMI*. Além do artigo citado, também será utilizado como referência o trabalho de Holmström *et al.* (2003), que servirão como base para definição das características necessárias para a operação do *VMI* na cadeia de suprimentos estudada.

A classificação dos fornecedores em conjunto com as definições das características necessárias para operação do *VMI* permitirá adequar o modelo de simulação mais próximo da realidade, evitando a apresentação de resultados utópicos em relação ao que é factível para a realidade da cadeia estudada, sabendo que nem todos os parceiros podem colaborar, e para os que estão aptos, qual tipo de operação *VMI* é mais adequado.

### **3.7. ESTRUTURA PARA AVALIAÇÃO DE PARCEIROS E CONFIGURAÇÕES DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS INTEGRADAS**

Historicamente, as primeiras tipologias de cadeias de suprimentos foram desenvolvidas através dos trabalhos de Lambert *et al.* (1996;1999), em que os autores propõe 3 tipos de parcerias a fim de ilustrar a importância de se obter uma visão mais profunda do negócio de forma a identificar fatores críticos de sucesso e melhorias no desempenho do negócio e como as empresas podem enxergar seus parceiros como uma extensão de sua própria empresa. Apesar de úteis, tais tipologias não examinam as abordagens de gerenciamento de inventário colaborativas desenvolvidas nas últimas décadas.

Os estudos abordando especificamente as parcerias colaborativas apresentadas no presente trabalho surgiram a poucos anos, sendo identificada uma proposta de



estrutura de avaliação do *VMI* (Sarpola *et al.*, 2007) e uma de configuração de cadeias de suprimentos colaborativas (Holmström *et al.*, 2003). Tais estudos serão citados a seguir e servirão de base para a elaboração de uma estrutura para avaliação de diferentes modos de operação do sistema *VMI* estudado, a ser apresentado posteriormente.

### **3.7.1. Estrutura de Avaliação de Sistemas *VMI* proposta por Sarpola *et al* (2007)**

Os autores propõem e definem 6 elementos considerados como as principais dimensões para a diferenciação entre sistemas *VMI*: localização do inventário; modelo de distribuição; nível de monitoramento do inventário e visibilidade da demanda; papel dos sistemas de informação; decisão de reabastecimento e posse do inventário.

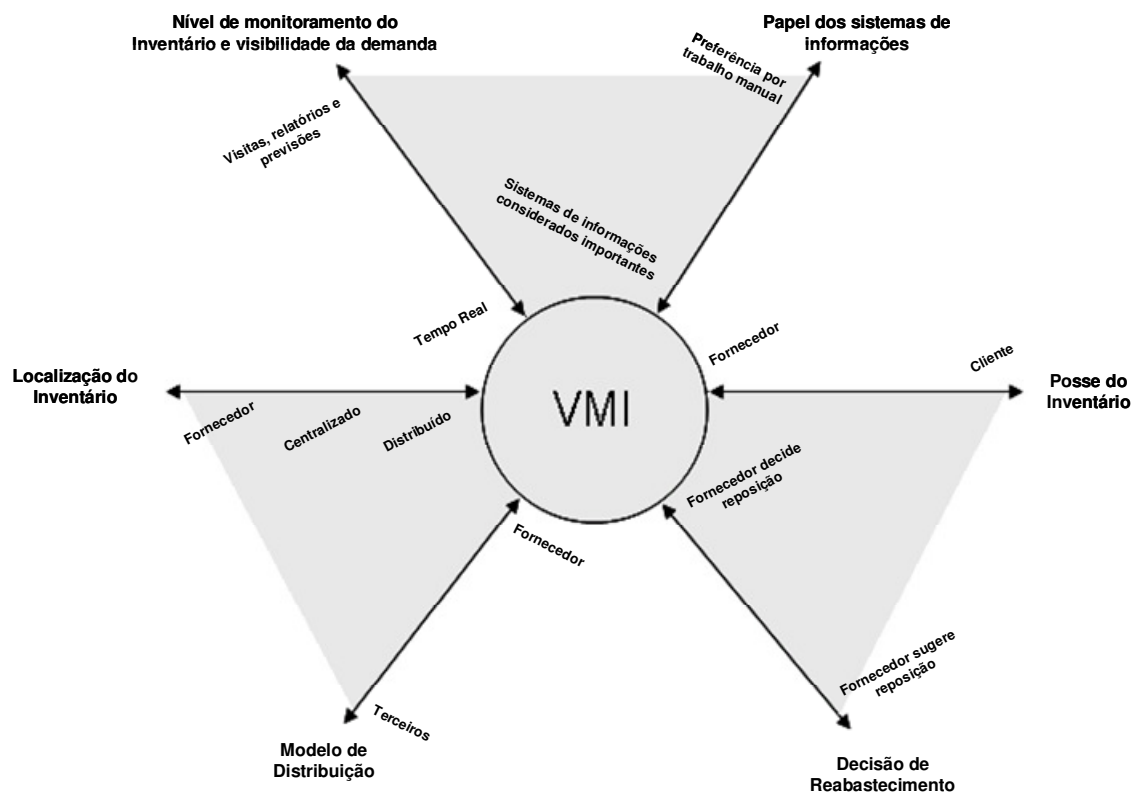
Segundo os autores, a utilização de diferentes práticas colaborativas e estratégias de parceria levam a diferenças significativas da forma como operam sistemas *VMI*. O resultado dessas diferenças influencia nos riscos, benefícios e desafios antes e após implementação, a serem vivenciados tanto para os fornecedores quanto para os clientes.

A tabela 05 mostra resumidamente o significado de cada um dos elementos propostos. Para cada um dos elementos identificados pelos autores é definido um *continuum* de maneira que os integrantes da cadeia de suprimentos possam ser avaliados sob cada um desses aspectos.

Tabela 5 - Elementos para diferenciação de sistemas *VMI*

Elemento	Característica	Continuum
Localização do Inventário	O continuum é definido em 3 níveis: - Distribuído no cliente: o estoque é mantido diretamente no ponto onde é consumido. - Centralizado no cliente. - No próprio fornecedor ou em Terceiros.	← Fornecedor Centralizado Distribuído →
Modelo de Distribuição	Diferencia se o modelo de distribuição é feito pelo próprio fornecedor ou por terceiros.	← Terceiros Fornecedor →
Nível de Monitoramento do Inventário e Visibilidade da demanda.	Refere-se ao quanto de visibilidade dos níveis atuais de inventário e de informações de demanda futura do cliente são disponibilizadas pelo cliente. Em um extremo temos as informações disponíveis em tempo real. No outro, temos visitas agendadas e envio de relatórios e previsões.	← Visitas, relatórios e previsões Tempo Real →
Papel dos Sistemas de Informações	Relaciona-se à extensão na qual os sistemas de informações são utilizados para facilitar o sistema <i>VMI</i> ou se são utilizados procedimentos manuais para gerenciamento do sistema.	← Preferência por trabalhos manuais Importante →
Decisão de Reabastecimento	Refere-se se é dada ao fornecedor a responsabilidade de tomada de decisão do reabastecimento do inventário ou se o mesmo apenas propõe uma sugestão de reabastecimento, que deve ser aprovada pelo cliente.	← Fornecedor sugere reposição Fornecedor decide reposição →
Posse do Inventário	Define de quem é a responsabilidade dos custos de capital de estoque, estocagem e obsolescência.	← Cliente Fornecedor →

A combinação dos seis elementos apresentados permite a elaboração de uma estrutura para avaliação de sistemas *VMI*, conforme a figura 14. Quanto mais próximo do centro estiver, maior a chance de a parceria atingir os resultados esperados.

Figura 14 - Estrutura de avaliação de sistemas *VMI* (Sarpola *et al.*, 2007)

Observa-se na estrutura que os elementos definidos não são totalmente independentes. Por exemplo, a posse do inventário está relacionada diretamente à tomada de decisão de reabastecimento. Da mesma forma, o nível de monitoramento do inventário e visibilidade da demanda estão associados à importância dada aos sistemas de informações. Somente é viável a troca de informações em tempo real, se estiver disponível um sistema de informações robusto para cliente e fornecedor. Por fim, o modelo de distribuição é influenciado pela localização do inventário. Caso o inventário seja distribuído ao longo da linha de produção do cliente, é mais sensato deixar com o fornecedor a responsabilidade da distribuição. Para uma determinada parceria, se os elementos dos pares citados acima forem classificados em extremos opostos de seus respectivos *continuums*, os autores sugerem que a implementação do sistema VMI seja revista para que a mesma possa atingir melhores resultados.

A estrutura proposta permite medir, categorizar e comparar parcerias baseadas em sistemas VMI. Além disso, a estrutura serve como uma ferramenta para avaliar a situação atual de uma parceria e como instrumento de orientação para o planejamento do desenvolvimento de iniciativas VMI.

### **3.7.2. Configurações de cadeias de suprimentos propostas por Holmström et al. (2003)**

Os autores definem 5 modelos do tipo “tanque de água” para cadeias de suprimentos de 2 níveis, diferenciadas pelo controle do fluxo de materiais e informações e processo de tomada de decisões conforme tabela 06. Tais configurações passam desde o modelo tradicional de envio de pedidos de compras até o modelo em que as fontes externas de informações são utilizadas para o planejamento de produção e controle de inventários do fornecedor. Essa ligação entre disponibilidade de informações e o uso das mesmas na produção e controle de estoques é considerada pelos autores como o principal desafio para o avanço de iniciativas colaborativas.

Tabela 6 - Configurações de cadeias de Suprimentos (Holmström *et al.*, 2003)

Configuração	Descrição da Função colaborativa	Informações Disponíveis	Características
Tipo 0	Cadeia de Suprimentos Tradicional	Pedido de Compra	Altamente impactada pelo efeito chicote. O cliente final é responsável por emitir o pedido de reposição. As decisões de pedido são tomadas de forma independente nos 2 elos da cadeia.
Tipo I	Reabastecimento	Inventário e vendas do cliente final	O processo de enviar o pedido de reabastecimento é responsabilidade do fornecedor. O fornecedor não utiliza as informações que possui do cliente em sua Produção e Controle de Inventário.
Tipo II	Reabastecimento e Previsão	Previsão de vendas do cliente final	Os fornecedores consideram a informação de vendas dos clientes para a geração das previsões de demanda. É um passo essencial na implementação de estratégias como o VMI e o CPFR. O fornecedor reabastece de acordo com a situação de estoque do cliente. O benefício da visibilidade é utilizado para responder às mudanças do estoque do cliente ao invés da informação ser incorporada à Produção e controle de inventário.
Tipo III	Reabastecimento, Previsão e Gerenciamento do inventário do cliente	Gerenciamento do inventário do cliente (informações específicas do inventário do cliente).	Permite um melhor controle dos processos de reabastecimento e gerenciamento de inventário num nível mais abaixo da cadeia. Utiliza os requerimentos do elo à jusante da cadeia ao invés de repor baseado em regras de reabastecimento. Permite ao fornecedor uma maior flexibilidade de resposta. O benefício é maior para itens de baixo giro.
Tipo IV	Reabastecimento, Previsão, Gerenciamento do inventário do cliente e planejamento de distribuição	Fornecedor planeja sua distribuição no nível do cliente final através de uma abordagem DRP (Distribution Requirements Planning). O fornecedor utiliza a mesma base de informação utilizada nos canais de controle do cliente final.	Necessário quando existe um tempo de transporte longo em relação à cobertura do inventário ou quando se trata de produtos perecíveis. A abordagem do DRP permite uma otimização dinâmica e contínua da cadeia de suprimentos. O objetivo desse tipo é minimizar os níveis de inventário e custo no centro de distribuição para um determinado nível de serviço e previsão de demanda através de um planejamento periódico de níveis de inventário e reabastecimentos. O problema desse tipo de cadeia são as divergências entre as necessidades do sistema de distribuição e do fornecimento requerido pela cadeia. Custos de falta de estoque e obsolescência não são os mesmos para fornecedores e distribuidores.

A dificuldade do fornecedor em aproveitar as informações de seu cliente é que o mesmo faz parte de um conjunto onde existem outros clientes que também requerem os mesmos produtos. Outro fator limitante aparece quando apenas uma parte da base de clientes do fornecedor troca informações, ou seja, quando há visibilidade parcial da cadeia, ou seja, para um mesmo produto várias estruturas de cadeias diferentes.

Dessa maneira, disponibilizar um sistema de produção e controle de inventário para um cliente ou que seja um grupo restrito de clientes pode ser bastante custoso, pois podem ser necessários mais estoques de segurança, produção em lotes menores ou longos intervalos entre corridas de produção. O benefício potencial para o fornecedor ao incluir a demanda do cliente, requerimentos de estoque e distribuição em seu processo de produção e controle de inventário, é o aumento da flexibilidade em sua capacidade do plano de produção e alocação de inventários.

De uma forma geral, as configurações de cadeias de suprimentos propostas por *Holmström et al.* (2003) servirão como base para o desenvolvimento do modelo de simulação do presente trabalho, que será composto por 3 níveis de parcerias, cuja dinâmica de operação e equações matemáticas que regem o sistema, serão detalhadas posteriormente.

## **4. APLICAÇÃO DE POLÍTICAS DE ESTOQUES NA MODELAGEM DE CADEIA DE SUPRIMENTOS INTEGRADAS**

Após a revisão dos principais conceitos relacionados ao *VMI*, neste capítulo serão apresentados os principais estudos identificados na literatura relacionados à aplicação de políticas de estoques em cadeias de suprimentos integradas. De uma forma geral, os modelos estudados podem ser divididos em duas formas de abordagem: modelos matemáticos e modelos de simulação, sendo esta última subdividida em modelos baseados na teoria de controle e simulação a eventos discretos. Além da revisão referente aos modelos, o texto apresenta vantagens e desvantagens de cada tipo de abordagem, que servirão como fundamentos para a escolha do modelo mais adequado para o estudo proposto no presente trabalho.

### **4.1. MODELOS MATEMÁTICOS (QUANTITATIVOS)**

Estudos quantitativos relacionados à cadeias de suprimentos são baseados em sistemas multicamadas, que são aqueles que possuem mais de um ponto de estocagem, e em que tais pontos abastecem uns aos outros. O acesso às informações de previsões e níveis de estoque nas diversas camadas da cadeia pode contribuir para diminuir o estoque médio total do sistema através da coordenação do fluxo de materiais. As políticas de estoque para cadeias integradas exigem que as empresas permitam aos seus fornecedores acesso a tais informações, como é o caso da estratégia do *VMI*.

Devido à complexidade na solução de problemas de multicamadas, poucos estudos são identificados na literatura no que tange o desenvolvimento de métodos otimizantes ou mesmo heurísticos para encontrar soluções para o problema. Schwarz (1973) desenvolve uma forma de resolver o problema quando o sistema possui até dois varejistas ou fornecedores. Para um número maior, não se consegue obter uma resposta ótima, visto a grande quantidade de alternativas para o sistema. Clark e Scarf (1960) definem o conceito de estoque de camada (*echelon-stock*) em

um modelo no qual conseguem encontrar uma solução ótima para um problema multicamadas na configuração serial considerando a demanda estocástica e não estacionária e os *lead-times* fixos. Federguen e Zipkin (1984) ampliam o modelo para o caso de horizonte infinito. Schwarz (1973) modela a configuração de um armazém e n-varejistas com o objetivo de minimizar os custos totais. O modelo considera custos de pedido e de estoque, porém, é limitado por não considerar custos de falta ou demanda postergada.

Ehrhardt *et al.* (1981) propõe um modelo que considera custos de armazenagem, custos de demanda postergada e custos de pedido, regido por uma política de estoque estacionária do tipo (s,S) tanto para o armazém central quanto para os varejistas com demandas independentes e identicamente distribuídas. Segundo os autores, a política será ótima se a demanda do armazém também for independente e identicamente distribuída.

Um modelo que considera *lead time* estocástico e nível de serviço como restrição do sistema é apresentado por Ganeshan (1999) onde a política de reposição adotada é do tipo (s,Q) em que múltiplos fornecedores abastecem um armazém central e este atende a múltiplos varejistas para um determinado produto. O autor considera em seu modelo custos de transporte e demandas com distribuição de Poisson.

Chen (1999) estuda uma cadeia de distribuição de dois estágios com um varejista e demanda estocástica com distribuição de Poisson. O sistema é regido por uma política de revisão contínua do tipo (s,Q) com *lead time* e lote fixos e encontrou solução ótima para 94% dos problemas testados. Um modelo multicamadas (S-1,S) é proposto por Moinzadeh e Aggarwal (1997), no qual consideram que o reabastecimento pode ser feito através de um canal normal ou utilizando um canal de emergência, mais caro. Incorporam o uso da informação para selecionar o melhor modo de reabastecimento para as ordens pendentes. Garvineri *et al.* (1999) usam a teoria de estoque multi-camadas para modelar uma cadeia de suprimentos simples e mostram que a troca de informações permite significativa redução de custos.

Raghunathan e Yeh (2001) analisam o impacto do compartilhamento de informações e reposição contínua num contexto *CRP* e quantificam o benefício de se adotar esse tipo de programa, onde o *VMI* é considerado uma etapa de reposição. Os autores comparam o modelo de revisão periódica e o *CRP* em relação aos custos da cadeia e avaliam a participação parcial dos varejistas no *CRP*,

determinando quantos e quais varejistas devem participar do programa. A análise é feita comparando o *CRP* com sistemas de revisão periódica com e sem o compartilhamento de informações. Os autores consideram uma cadeia de suprimentos de 2 elos com N-varejistas. O *lead-time* de reposição considerado é zero e a demanda é não-estacionária e estocástica, calculada através de um modelo autoregressivo (AR) de primeira ordem. O modelo considera que as demandas dos varejistas sejam correlacionadas de forma que quanto mais correlacionadas são as demandas, maior é o benefício do *CRP*. Um ponto de atenção levantado pelos autores refere-se ao incremento dos custos devido à reposição contínua, proveniente do maior número de envios de mercadorias e em quantidades menores.

Um modelo matemático foi desenvolvido por Chen *et al.* (2000), onde após a análise do efeito das trocas de informações, previsões e *lead times* sobre o efeito chicote, conclui-se que apesar da maior visibilidade de informações de demanda, não é possível eliminar totalmente os efeitos de amplificação da variabilidade. Outro modelo analítico para estudar o compartilhamento de informações em uma cadeia de 2 níveis foi desenvolvido por Lee *et al.* (2000), que quantificam níveis de inventário e custos quando informações de demanda não estacionária são trocadas e comparam-nos com cenários de políticas de ponto de reposição. Simchi-Levi *et al.* (2000) desenvolvem um modelo para gestão dos estoques em que as informações sobre os estoques estão sempre disponíveis. O modelo possui 3 camadas (fabricante, distribuidor e varejista). O estoque dos varejistas é governado por uma política de revisão periódica do tipo (s,S) e os pedidos do distribuidor são feitos considerando seu estoque de camada mais estoque em trânsito.

Yao e Dresner (2008) ampliam os modelos de Lee *et al.* (2000) e Raghunathan e Yeh (2001) para analisar os benefícios obtidos por fabricantes e varejistas em situações de compartilhamento de informações, programas *CRP* e *VMI* e apontam que os benefícios obtidos são percebidos de forma diferenciada por fabricantes e varejistas. Dong e Xu (2002) estudam o impacto do *VMI* sobre a lucratividade da cadeia no curto e longo prazos, utilizando um modelo simplificado, composto por um fornecedor e um cliente, considerando demanda e *lead time* determinísticos, lote econômico de compras (LEC) e que não ocorrem rupturas de estoques. Os autores atestam que no longo prazo, quando o fornecedor e o cliente ajustaram sua produção, distribuição e vendas, o volume de vendas aumenta, mas



que no curto prazo consegue-se benefícios relacionados à redução de custos de inventário.

Kaipai *et al.* (2002) utilizam um modelo *time-based* para mensurar os potenciais benefícios do *VMI* numa relação cliente-fornecedor. A unidade de medida utilizada é o tempo, cuja redução nos atrasos dos envios dos pedidos auxilia o fornecedor atuar mais rápido sobre o inventário do cliente.

Apesar de as técnicas analíticas possuírem a vantagem de conseguir determinar os parâmetros ótimos das políticas de estoque, tornam-se limitadas pelos pressupostos que devem ser assumidos pelo modelo. O foco em modelos matemáticos de otimização é considerado problemático por Smaros *et al.* (2003), pois os algoritmos otimizantes requerem dados precisos e completos para que funcionem corretamente, sendo difícil incluir os dados disponíveis dos fornecedores e clientes, visto que os mesmos são geralmente insuficientemente precisos. Muitas vezes são obtidos dados precisos apenas de alguns parceiros, o que significa que os requerimentos de dados completos não são atendidos. Não obstante, sistemas de reposição reais estão sujeitos a condições que os obrigam a operar longe do ótimo, e, portanto, modelos de otimização podem levar a resultados imprevisíveis ou impossíveis de serem alcançados na prática.

## **4.2. MODELOS DE SIMULAÇÃO**

Nos últimos anos, muitos pesquisadores e usuários de conceitos e técnicas de integração de cadeias de suprimentos têm se deparado com o desafio de mostrar através de uma análise rigorosa os reais benefícios que podem ser obtidos com a adoção de tais técnicas. A literatura estudada aponta para duas formas de realizar uma análise da cadeia de suprimentos baseada em iniciativas colaborativas através do uso da simulação. A primeira é realizar um estudo da dinâmica do sistema através da teoria de controle. A segunda é utilizar a simulação a eventos discretos a partir das equações que governam o sistema.

#### 4.2.1. Modelagem do VMI através da teoria de controle

A análise da cadeia baseada em teoria de controle tem origem no estudo feito por Towill (1982) que utiliza diagramas de blocos e transformadas de Laplace para estudar um sistema de controle de produção (*simple two-stage supply chain*) baseado em ordens de ressuprimento e estoques, onde analisa um sistema IOBPCS (*Inventory and Order Based Production Control System*), estabelecendo as condições para que o sistema opere de acordo com a teoria de controle. Popplewell e Bonney (1987) modelam sistemas multi-produtos e multi-camadas através da teoria de controle linear com variáveis discretas (transformada-z), dividindo o sistema em subsistemas. A saída de cada subsistema é conectada à entrada de outro, formando um sistema MRP (*material requeriment planning*) e um ROC (*re-order cycle system*).

Edghill e Towill (1989) estendem o modelo, ao considerar que o nível de estoque de referência não é fixo, mas que depende da demanda observada (*VIOBPCS - Variable Inventory OBPCS*). John *et al.* (1994) incluem um laço de realimentação, obtendo uma nova variável de controle, baseada nas ordens a receber, definindo o modelo *APIOBPCS* (Automatic Pipeline IOBPCS).

Disney e Towill (2002a) adaptam o sistema *APIOBPCS* a uma cadeia de suprimentos controlada por uma parceria *VMI* (Vendor Managed Inventory), chamando o novo sistema de *VMI-APIOBPCS*. Utilizando o modelo *VMI-APIOBPCS*, Disney e Towill (2003) investigam os impactos sobre o “efeito chicote” ao se adotar uma relação de *VMI* em uma cadeia de suprimentos de 2 níveis. O modelo considera um fornecedor e um cliente e os autores investigam em seu modelo como as 5 causas fundamentais do “efeito chicote”, descritas por Lee *et al* (1997a,b): *lead times* diferentes de zero, flutuações em preços, processo de previsão de demanda, jogo do racionamento e falta e pedidos em lotes, são afetadas através da introdução do *VMI*.

Os resultados obtidos por Disney e Towill (2003) mostram que duas fontes (pedidos em lotes e o jogo de racionamento e falta) do “efeito chicote” são completamente eliminadas com a adoção do *VMI* na cadeia de suprimentos.

Sidney e Censlive (2005) fazem uma análise do modelo desenvolvido por Disney e Towill (2003) utilizando o pacote *Simulink*. Nesse trabalho, eles

implementam o *VMI-APIOBPCS* tanto na forma discreta quanto na contínua, considerando dois tipos de atraso na produção: fixo e exponencial. Os resultados obtidos indicam que não existem diferenças significativas entre o modelo contínuo e o discreto. As maiores diferenças encontradas por eles foram quando da utilização de atrasos fixos ou exponenciais.

#### **4.2.2. Modelagem do VMI através do uso da simulação a eventos discretos**

Em relação aos modelos desenvolvidos para estudar cadeias de suprimentos que adotaram a estratégia do *VMI*, Pohlen e Goldsby (2003) descrevem os programas *SMI* e *VMI* e propõe uma ferramenta de simulação quantitativa para determinar os benefícios financeiros obtidos com a adoção das práticas colaborativas citadas, através de uma ferramenta baseada no conceito de EVA (Valor Econômico Adicionado).

A aplicação do *VMI* é estudada por Waller *et AL.* (1999) através do uso da simulação com o intuito de examinar a abordagem quantitativamente. Eles modelaram uma cadeia de suprimentos considerando um fabricante e 7 centros de distribuição (CD) atendidos pela política de *VMI*. A política de *VMI* é diferenciada das políticas tradicionais de reposição pela frequência de ordens enviadas pelos clientes. Cachon e Fischer (1997) analisam a previsão e o gerenciamento dos estoques num ambiente *VMI*, onde eles mostram que os níveis de estoque diminuem enquanto o nível de serviço aumenta tanto para o varejista quanto para o fabricante. Narayanan e Raman (1997) apresentaram um modelo de estoques simples para avaliar os benefícios do *VMI* quando a demanda do produto é influenciada pela disponibilidade do mesmo. A condição de demanda estacionária é abordada por Cachon e Fisher (2000) em um estudo de simulação para um único produto, onde os autores concluem que para esses casos a frequência de reposições traz mais benefícios que o compartilhamento de informações. Smaros *et al.* (2003) e Kaipai *et al.* (2002) mostram que produtos com baixa frequência de reposição são mais beneficiados pelo incremento da visibilidade de dados da cadeia.

Perea *et al.* (2000) propõe um modelo de cadeia de suprimentos para uma política de suprimento ao cliente com *lead time* variável. Nesse modelo, a frequência das ordens colocadas para o fornecedor depende do *lead time* mínimo de uma ordem, nível de estoque de referência, estoque disponível, lead time padrão e quantidade do pedido.

Garvineri *et al.* (1999) modelam uma cadeia de suprimentos simples, apresentando apenas um fornecedor e um cliente. Boone *et al.* (2000) propõe um modelo de simulação de uma cadeia de suprimentos considerando 4 elos, sobre o qual é feita uma comparação entre um sistema *CPFR* e o tradicional sistema por ponto de reposição. Os resultados apontam que a adoção do *CPFR* aumenta as taxas de abastecimento e o valor para o acionista, enquanto que ao mesmo tempo reduz os níveis de estoques e o tempo de ciclo da cadeia de suprimentos estudada.

A literatura estudada aponta poucas pesquisas que abordam problemas relacionados com visibilidade parcial da cadeia, ou seja, quando apenas alguns participantes aderem ao sistema *VMI*. Um exemplo clássico é o trabalho de Waller *et al.* (1999), que avalia a adesão parcial num modelo *VMI* estritamente em relação à níveis de inventário, baseado na diminuição dos tempos de revisão e aumento da frequência de reposição. No estudo de Waller *et al.* (1999), a diminuição do tempo de revisão acaba eliminando atrasos no fluxo de informações.

Smaros *et al.* (2003), expandem as idéias de Lee *et al.* (2000), Disney e Towil (2001) e Silver *et al.* (2001), incluindo em seu modelo de simulação vários clientes *VMI* e não *VMI*, e a utilização das informações disponíveis dos clientes para um planejamento de produção e controle de inventário simples. Os resultados encontrados por Smaros *et al.* (2003) revelam que o impacto devido ao aumento da visibilidade da demanda é maior para produtos com menor frequência de reposição, que são tipicamente os produtos tipo C. Tais produtos normalmente são repostos em grandes quantidades, de forma que os lotes de reposição são muito maiores que o consumo diário ou semanal do produto. Os resultados mostram que o fabricante consegue obter benefícios mesmo com visibilidade parcial da cadeia de distribuidores, combinando parceiros que adotam modelo de reposição tradicional e parceiros aderidos ao *VMI*. A avaliação do impacto da visibilidade sobre a frequência do planejamento de produção aponta que ciclos menores são mais beneficiados e principalmente que, podem-se esperar poucos benefícios do *VMI* para situações de produtos com demanda estável e longos períodos de planejamento de produção.

Essa conclusão ajuda a explicar por que algumas aplicações *VMI* podem ter decepcionado quanto aos resultados obtidos.

Thron *et al.* (2006) avaliam o desempenho de cadeias de suprimentos através de indicadores de performance mostrando os impactos do aumento dos níveis de colaboração entre o fabricante e seus principais clientes. O estudo é feito variando-se o número de clientes que adotam a política de ponto de reposição e passam a integrar um sistema colaborativo do tipo *VMI/CPFR*. Os autores avaliam níveis de serviço ao invés de níveis de estoque, devido às necessidades e restrições das empresas envolvidas na cadeia em relação à capacidade de armazenamento.

Como dito anteriormente, a maioria dos estudos em cadeia de suprimentos utilizam modelos relativamente simplificados e padronizados, que muitas vezes podem não condizer com a prática encontrada em cadeias de suprimentos reais. Além disso, grande parte da literatura referente à colaboração em cadeia de suprimentos apresenta uma visão extremamente otimista dos possíveis benefícios advindos das relações ganha-ganha, não considerando uma análise rigorosa que fundamente tal euforia (Cheng *et al.*, 2001). Para se aproximar mais da realidade, o modelo deve considerar o maior número possível de componentes da cadeia de suprimentos (empresas, funções, tecnologias, atividades, armazéns, etc) e suas inter-relações. Isso se torna difícil devido ao grande número e à complexidade das decisões a serem tomadas ao longo da cadeia. Willians e Tokar (2008) sugerem o uso da simulação como uma oportunidade de realizar análises complexas sob condições de incerteza na demanda. Além disso, a utilização das técnicas de simulação permite o desenvolvimento de cenários realísticos para a análise de modelos complexos. Davis-Sramek e Fugate (2007) entrevistaram muitos pesquisadores renomados na área de logística e identificaram um grande apelo dos entrevistados por mais pesquisas em logística que utilizem modelos de simulação.

#### **4.3. ESCOLHA DA ABORDAGEM PARA DESENVOLVIMENTO DO MODELO**

Para o estudo aqui proposto, será utilizada a simulação a eventos discretos, pois é uma forma de avaliar criticamente os benefícios de parcerias em cadeias de suprimentos (Maloni; Benton, 1997). Para um resumo das características, vantagens

e campos de aplicação, ver Pedgen (1995), Pidd (2004), Bateman *et al.* (1997) e Brooks *et al.* (2001). Segundo Pedgen (1995), a simulação é uma técnica que utiliza modelos para representar a essência de uma instalação real ou proposta sob investigação, com o objetivo de avaliar o comportamento deste sistema sob diversas condições. O modelo de simulação permite o desenvolvimento de um laboratório conveniente para a análise dos efeitos e influências de diversos fatores. Além disso, a simulação facilita o envolvimento dos especialistas das empresas, uma vez que os modelos e resultados são normalmente de fácil entendimento (Smaros *et al.*, 2003). O uso da simulação permite aos pesquisadores calcular estatísticas dos resultados e desenvolver modelos, inclusive com animação, que permitem fácil entendimento até mesmo por leigos em modelagem. Uma das principais vantagens nesse âmbito é a capacidade de avaliar as interdependências entre os efeitos aleatórios que podem causar uma séria perda de desempenho do sistema. Outro argumento que justifica o uso da simulação é sustentado no fato de a abordagem ser amplamente aceita e utilizada na literatura de cadeias de suprimentos, atingindo alto grau de maturidade no campo de pesquisa operacional. Diferente das técnicas analíticas, a simulação não permite encontrar uma solução ótima para as políticas de estoque. As políticas de estoque na simulação são representadas por equações que determinam parâmetros específicos, sendo estas equações baseadas em premissas e hipóteses restritivas (Badri, 1999). Apesar de não garantir a solução ótima, a simulação permite que o modelo utilizado seja mais próximo da realidade. Segundo Badri (1999) o uso de simulação na gestão de estoques é uma resposta a necessidade de procedimentos formais para tomada de decisão que possam levar em conta as complexidades e mudanças no sistema.

Para a finalidade do estudo, no qual serão analisados múltiplos cenários, a utilização de modelos matemáticos de otimização não seria adequada, vistos que os mesmos são aplicáveis quando todas as variáveis do sistema são determinísticas e, principalmente, são estruturados para permitir a tomada de decisão com a escolha de uma única alternativa, que será considerada ótima, segundo algum critério preestabelecido. Devido às dificuldades e complexidade apresentadas para encontrar soluções analíticas de sistemas de estoque multicamadas, a simulação a eventos discretos mostra-se uma alternativa interessante como ferramenta para análise do problema.

A opção pela abordagem da simulação a eventos discretos ao invés da baseada em teoria de controle foi devido à flexibilidade em relação ao desenvolvimento de diversos cenários, de forma que os modelos podem ser bastante variados e flexíveis. Alterações nos modelos baseados em teoria de controle modificam suas funções de transferência (função do custo total) e requerem nova análise das condições de estabilidade do novo sistema, de forma a minimizar a função de custo. Dessa forma, torna-se extremamente complexa a análise de múltiplos cenários, onde seria necessário considerar uma configuração específica do sistema em análise para cada situação.

Como forma de assegurar a qualidade e a confiabilidade dos resultados, foi adotada uma metodologia de pesquisa em simulação, que será descrita na próxima seção.

#### **4.4. METODOLOGIA DE PESQUISA**

A simulação é vista hoje como metodologia indispensável para solução de problemas de engenheiros, projetistas e administradores. Vários autores propõem metodologias para projetos de simulação utilizados na resolução de problemas envolvendo diferentes focos e níveis de detalhamento. Dentre eles podemos citar Chwif e Medina (2006), Prado (2004), Freitas (2001), Banks (1984), Pedgen (1995), Kelton Sadowski (1998), dentre outros. Para o presente trabalho, foi adotada a abordagem desenvolvida por Pedgen *et al.* (1995), por ser simples, objetiva, consistente e de fácil implementação e avaliação dos resultados.

A metodologia de pesquisa implantada permite avaliar o comportamento dos níveis de serviço, dimensionamento dos estoques, custos totais e configurações da cadeia de suprimentos estudada com e sem a aplicação do VMI, além de considerar as inter-relações dos diversos subsistemas e componentes do sistema logístico.

A ferramenta utilizada para a simulação foi o software “Arena”, versão 8.0, que possui as seguintes características (Botter; Ono, 2003): Simulador de Eventos Discretos, Linguagem de Programação Siman, Interface com Usuário/Diagrama de

Blocos, Recursos de Animação, Input/Output Analyser, Scenario Manager, Templates e Visual Basic for Applications.

A metodologia proposta por Pedgen *et al.* (1995) sugere um seqüência de passos que devem ser seguidos durante o desenvolvimento da simulação. Tais passos são listados a seguir, bem como as evidências de cada passo para a presente pesquisa:

### **Passo 1 – Definição do Problema**

Consiste na clara definição dos objetivos do estudo proposto, ou seja, por que o problema está sendo estudado e quais questões serão respondidas.

O passo 1 está representado nos itens 1.1.Objetivos e 1.2. Justificativa do presente trabalho.

O objetivo do modelo de simulação será representar uma cadeia de suprimentos do ramo de minério de ferro, considerando a empresa cliente e seus principais fornecedores de matéria-prima. O modelo deverá avaliar os níveis de estoque, rupturas e custos da cadeia como um todo, através da aplicação da parceria *VMI* para gerenciamento de inventários colaborativo.

### **Passo 2 – Planejamento do Projeto**

Diz respeito à disponibilidade dos recursos necessários para execução do estudo, tais como: pessoas, infra-estrutura de TI, recursos de software, etc.

Nessa etapa verificou-se que todos os recursos necessários estavam disponíveis, desde disponibilidade de pessoas da empresa e dos fornecedores, sala para desenvolvimento do modelo e licenças de uso do ARENA.

### **Passo 3 – Definição do Sistema**

Essa fase consiste na determinação de fronteiras e restrições do sistema e na investigação de como o processo funciona.



O passo 3 está descrito no capítulo 5. Caso de estudo e apresentação do modelo de simulação.

#### **Passo 4 – Formulação do Modelo Conceitual**

Nessa fase é desenvolvido um modelo preliminar, que pode ser feito na forma de diagrama de blocos ou através de um pseudo código para definir componentes, descrever variáveis e interações lógicas do sistema.

O modelo conceitual foi iniciado através de reuniões com a equipe da empresa cliente e seus fornecedores, de maneira que foram desenvolvidos fluxogramas de cada processo/subsistema, que estão disponíveis para consulta no anexo A. Tais fluxogramas serviram de base para o desenvolvimento de um modelo piloto, elaborado na linguagem de programação *Visual Basic* e que posteriormente foi traduzido para o ARENA. O modelo piloto contempla uma cadeia de suprimentos simples, composta pelo cliente e um de seus fornecedores. A experiência e os dados obtidos ao longo do projeto piloto revelaram-se muito valiosos para validar o resultado do modelo de simulação.

#### **Passo 5 – Projeto experimental preliminar**

Consiste em selecionar as medidas de desempenho do sistema, fatores a serem investigados e em que nível serão investigados. Deve-se definir quais dados serão extraídos do modelo, bem como seu formato.

O passo 5 foi executado baseado no modelo piloto, onde foi possível definir os dados de saída do modelo, de acordo com os objetivos do estudo. Os dados de saída, bem como a análise dos resultados obtidos podem ser verificados na secção 5.4. Aplicação do modelo.

#### **Passo 6 – Preparação dos dados de entrada**

Identificação e coleta dos dados de entrada necessários para o modelo.

A coleta e tratamento de dados para o modelo podem ser vistos no item 5.4.1. Protocolo de coleta de dados.

### **Passo 7 - Formulação do modelo**

Nessa fase, o modelo deve ser formulado em uma linguagem de simulação apropriada. No presente estudo, essa fase é concluída com o desenvolvimento do modelo no ARENA. As ferramentas input/output analyzer e interface visual através da animação permitem acompanhar a completa operação do sistema e também monitorar as variáveis mais importantes do sistema, tais como níveis de estoque, custos, rupturas, etc.

A estrutura geral da cadeia de abastecimento para o modelo final é bastante semelhante à estrutura do modelo piloto, de maneira que foi possível utilizar a mesma base para ampliação do número de integrantes, bastando apenas realizar as modificações individuais de cada participante. Assim, a estrutura de abastecimento, produção, demanda, entrega e quantidades de estoque foram ajustadas para cada fornecedor, pois os mesmos pertencem a segmentações de mercado diferentes. Dessa forma consegue-se obter um modelo que pode ser personalizado para a situação em questão, mas que ainda consegue ser geral e flexível o suficiente para representar uma grande variedade de situações típicas da cadeia de abastecimento e as condições de mercado de várias empresas, de dimensão e estrutura similar de entrega.

### **Passo 8 – Verificação e validação do modelo**

Trata-se da confirmação de que o modelo opera de acordo com o proposto e que as saídas do sistema são verossímeis e representam as saídas de um sistema real. O primeiro procedimento foi verificar o correto funcionamento da lógica por meio da animação gráfica do ARENA. O mesmo deve ser feito para todos subsistemas e suas iterações. O processo de validação envolve verificar o comportamento do modelo quando se considera seus processos, por exemplo, envio

de pedidos, produção, entregas ou qualquer outra situação específica e a situação real observada.

### **Passo 9 – Projeto experimental final**

Relaciona-se à realização de um experimento que possibilita obter a informação desejada e determinar como as corridas de simulação para cada cenário serão executadas. Nesse momento não se desenvolve mais nada em relação ao modelo, mas é feita a aplicação do mesmo como parte da análise para o suporte à decisão. As evidências dessa fase podem ser observadas nos tópicos 5.4.2. Tamanho das corridas e replicações e 5.4.3. Cenários de análise.

### **Passo 10 - Experimentação**

Consiste na execução da simulação propriamente dita, de forma a gerar os dados necessários e executar uma análise de sensibilidade. São avaliadas a situação atual e as condições futuras do sistema.

O passo 10 é evidenciado na secção 5.5. Resultados.

### **Passo 11 – Análise e interpretação**

Nessa fase são feitas as inferências a partir dos dados gerados na simulação. Com base nos indicadores gerados pelo modelo, os resultados são analisados e os cenários são comparados a fim de identificar a melhor alternativa.

Informações referentes à etapa 11 são encontradas no capítulo 6. Conclusão.

### **Passo 12 – Implementação e documentação**

Elaboração da documentação do sistema e resultados obtidos, seguidos pela apresentação dos mesmos para os clientes do projeto. Após a apresentação, o projeto é implementado.

## **5. CASO DE ESTUDO E APRESENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO**

Este capítulo inicia-se com a descrição do problema onde será aplicado o modelo proposto, onde se busca o entendimento do processo produtivo e do ambiente de negócios da empresa estudada, bem como do mercado fornecedor de matérias-primas que atende às necessidades de produção de pelotas de minério de ferro. Após o entendimento do contexto no qual o caso é estudado, apresenta-se uma estrutura de avaliação de sistemas *VMI*, que servirá como orientação para avaliação dos níveis de integração mais adequados para a situação atual da cadeia de suprimentos estudada e que também permitirá medir quanto de esforço e qual o direcionamento dos investimentos necessários para que níveis de integração mais aprofundados possam ser estabelecidos entre os parceiros. Por fim, descreve-se o desenvolvimento do modelo de simulação. A descrição detalhada do modelo desenvolvido no software ARENA pode ser encontrada no anexo B.

### **5.1. INFORMAÇÕES SOBRE O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO**

A aplicação de pelotas de minérios de ferro é largamente utilizada nas indústrias siderúrgicas, sendo um dos principais insumos na fabricação do aço. Historicamente, o mercado de pelotas apresenta um desenvolvimento gradual, mas nos últimos anos vêm crescendo de uma forma mais acentuada. Apesar da crise mundial instalada no segundo semestre do ano de 2008, as exportações de minério de ferro brasileiro aumentaram 10% em relação a 2007, de 269 milhões de toneladas para cerca de 298 milhões. Além disso, projeta-se uma expansão na produção e nas exportações brasileiras nos próximos 5 anos, segundo projeções da própria empresa.

Os aumentos sucessivos do preço do minério estão viabilizando novos projetos de usinas de pelotização no Brasil, o que certamente acarretará uma maior

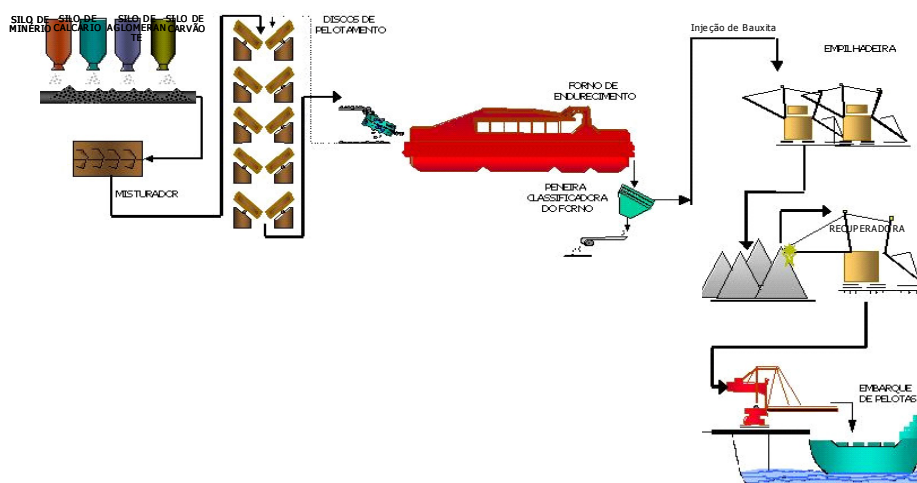
demanda por matérias-primas para o segmento. Muitos desses projetos ficarão situados em regiões próximas à empresa e a fidelização de fornecedores torna-se um aspecto chave para o setor. Para que isso aconteça é necessário que os fornecedores estejam alinhados à estratégia e nada melhor que estimular parcerias de longo prazo, que possam garantir a sustentabilidade da cadeia de suprimentos como um todo.

Para a empresa estudada, o processo produtivo inicia-se na unidade de Germano em Minas Gerais, onde o minério de ferro é extraído e beneficiado, sendo posteriormente transportado para o Espírito Santo através de dois minerodutos, cuja extensão é de 396 km. O minério de ferro chega à unidade industrial de Ponta Ubu, que possui três plantas de pelotização, sendo estas responsáveis por transformar o minério recebido em pelotas de minério de ferro, conforme figura 15.



**Figura 15 - Processo integrado da produção de pelotas de minério de ferro. Fonte:**  
[www.samarco.com.br](http://www.samarco.com.br) (acesso em 18/11/2009)

A figura 16 representa um fluxo simples do processo de produção de pelotas de minério e ferro e os pontos onde são adicionadas as matérias-primas.



**Figura 16 - Fluxograma simplificado do processo de pelotização**

O minério proveniente dos minerodutos é inicialmente tratado, de forma que é retirado o excesso de água e feita uma prensagem do mesmo para redução do tamanho das partículas. Esse minério, agora chamado de *pellet feed*, é entregue através de correias transportadoras para a área de mistura, onde as matérias-primas são adicionadas. Após a mistura, o material é transportado por correias para as três usinas de pelotização, que possuem discos inclinados de 7,5 metros de diâmetros, para a formação das pelotas. Depois de formadas, as pelotas cruas são classificadas em mesas de rolos, para que as maiores que 18 milímetros ou menores que oito milímetros sejam retiradas do fluxo principal do processo. O material descartado, após o processo de desagregação, realimenta os discos de pelotização. As pelotas de tamanho padrão (entre 8 e 18 milímetros) são endurecidas em três fornos de pelotização do tipo grelha móvel. Esse processo leva cerca de 35 minutos, atingindo temperaturas máximas, no interior do forno, da ordem de 1.350 °C. Depois, as pelotas são novamente classificadas em peneiras vibratórias para remoção de finos gerados durante o processo de queima, e transportadas, por correias, para pátios de estocagem e posteriormente embarcadas em navios.

## 5.2. ESPECIFICIDADES DA CADEIA DE SUPRIMENTOS ESTUDADA

A cadeia de suprimentos estudada é representada pela relação entre manufatura e seus principais fornecedores de matéria-prima para produção de pelotas de minério de ferro. A figura 17 representa a parte da cadeia do ramo de minério de ferro que será estudada no presente trabalho. O modelo da cadeia estudada possui dois fluxos principais de operação, que podem ser vistos no anexo A. No anexo A existem 3 fluxos, pois o fluxo dos fornecedores foi dividido em dois, contemplando produção e tratamento dos pedidos, de forma a facilitar o entendimento. Tais fluxos são governados por um conjunto de regras, que são adaptadas de acordo com os cenários e tipos de cadeia modelados. O detalhamento das regras e cenários encontra-se nas seções 5.3 e 5.4. O primeiro fluxo trata basicamente dos fornecedores, englobando produção, estoques e distribuição para atendimento à empresa fabricante de pelotas de minério de ferro. O segundo fluxo compreende o processo de aquisição, estoques e produção das pelotas, que são posteriormente vendidas para siderúrgicas do mundo inteiro.

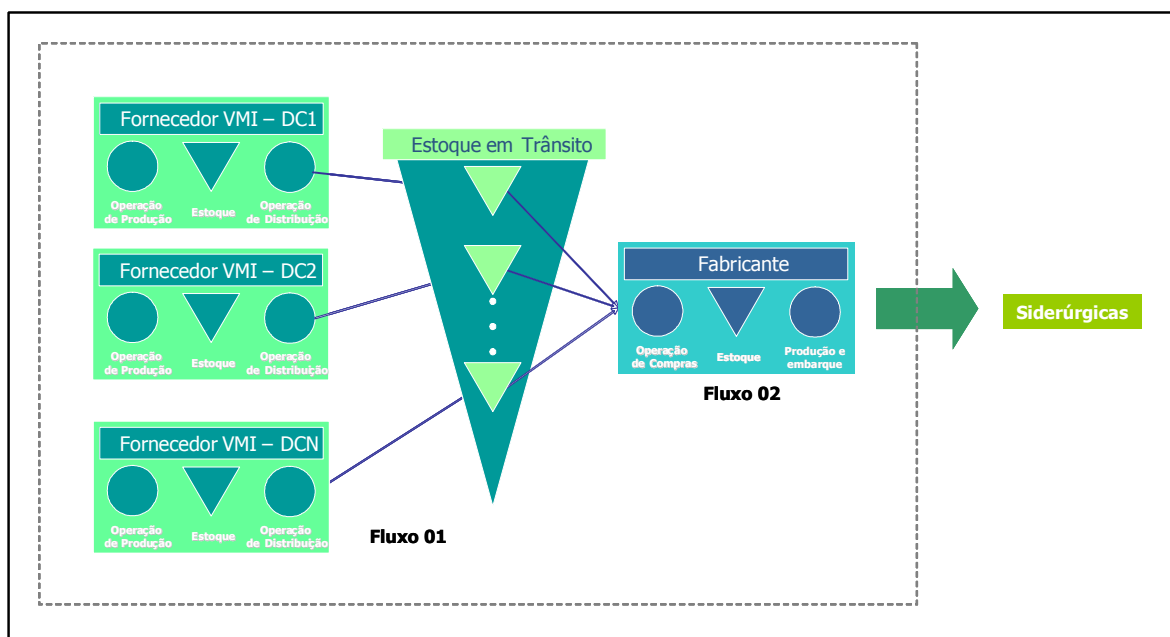


Figura 17 - Representação da cadeia de suprimentos estudada

As 3 plantas de pelletização adicionam ao minério de ferro matérias-primas e, de acordo com a dosagem e forma de produção, permitem à empresa ter em seu portfólio de vendas um total de 6 diferentes tipos de produtos, divididos em duas famílias: pelotas para utilização em Alto-Forno, conhecidas como pelotas BF (*Blast Furnace*) e pelotas para forno de redução direta, denominadas pelotas DR (*Direct Reduction*). Para o estudo serão consideradas três matérias-primas diferentes: aglomerante orgânico, bauxita e calcário, utilizadas na produção das pelotas DR. Tais produtos são sempre consumidos para a fabricação desse tipo de pelota e as quantidades utilizadas para a produção de uma tonelada de pelota seguem orientação de uma lista técnica de fabricação pré-estabelecida.

Atualmente, as relações comerciais entre os parceiros para tais matérias-primas são baseadas em negociação anual de preços e quantidades, sem nenhuma forma de integração. Na busca de uma maior integração entre os parceiros e visando relações de longo prazo e que tragam benefícios para ambas as partes, existe a iniciativa por parte da empresa de implantar uma parceria de gerenciamento de inventários colaborativa, no caso o *VMI*. A forma de estudar a integração na cadeia será através da estratégia *VMI*, pelo fato de ser amplamente utilizada em outras indústrias e ser apontada por muitos autores (Whipple; Russel, 2007; Raghunathan; Yeh, 2001) como a base para construção de parcerias colaborativas mais complexas, tais como o *CPFR*.

A seguir, será apresentada a estrutura de avaliação de sistemas *VMI*, que servirá como base para escolha da melhor forma de integração segundo as condições atuais de cada fornecedor e definição das características e regras necessárias para operação da cadeia segundo três níveis de integração. Além disso, auxiliará a responder uma questão-chave para o estudo, que é descobrir até que ponto a cadeia de suprimentos como um todo poderia ganhar ainda mais em eficiência e redução de custos ao adicionar mais participantes no *VMI*.

### **5.3. ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO PARA SISTEMAS *VMI***

Conforme citado na seção 3.6, o presente trabalho vai apresentar uma proposta de estrutura de avaliação de sistemas *VMI* para os integrantes da cadeia



de suprimentos estudada. A estrutura utiliza as idéias dos trabalhos de Waller *et al.* (1999), Holmstron *et al.* (2004) e Sarpola (2007), mesclando e incorporando idéias às abordagens e modelos por eles propostos. O principal foco é possibilitar a análise dos impactos em múltiplos cenários e diferentes níveis de integração sobre uma cadeia de suprimentos com a inclusão de fornecedores adeptos ao sistema *VMI*. A estrutura de classificação dos fornecedores proposta permite avaliar qual tipo de integração deve ser aplicada inicialmente para cada um dos participantes e identificar as lacunas para que o fornecedor possa engajar de maneira mais eficiente no *VMI*. A simulação de cenários considerando parcerias de gestão de inventário colaborativas para os fornecedores atuais possibilita avaliar os benefícios, esforços e riscos ao se investir na integração da cadeia de suprimentos. Os esforços necessários em cada uma das seis dimensões do *VMI* para que os fornecedores estejam aptos a engajar na parceria serão considerados na composição de custos, apresentada no tópico 5.4.3.

A estrutura proposta por Sarpola propõe dois níveis de integração baseados nas seis dimensões do *VMI*, ou seja, com ou sem a adoção do *VMI*. A estrutura aqui proposta considera três níveis para cada dimensão, de forma que se possa avançar gradualmente até a adoção plena do *VMI*, através de uma integração mais robusta. A análise em três níveis permite evitar ou eliminar barreiras que possam causar o fracasso da parceria. Os três níveis de integração, correspondentes à configuração de cadeias de suprimentos tipo I, II e III são detalhados nas próximas secções deste capítulo. A seguir será feito o detalhamento de cada uma das seis dimensões de um sistema *VMI* propostas na estrutura adaptada.

- Localização do inventário

O inventário poderá estar localizado no fornecedor, centralizado no cliente ou distribuído na linha de produção do cliente. Os estoques sendo localizados no fornecedor dificultam a implantação do *VMI*, pois a agilidade no fluxo de informações e materiais fica comprometida, sendo característico de cadeias de suprimentos não integradas. Ao avançar a localização dos estoques para o cliente, consegue-se melhorias em relação ao fluxo de materiais e pode-se obter ganhos no controle dos estoques com o envio das informações dos níveis de inventário retiradas de estoques do cliente, possibilitando estágios iniciais do *VMI*. No caso do estoque

distribuído na linha de produção do cliente, mais rápido será o atendimento à demanda e as informações disponibilizadas são do consumo em tempo real. Pelo fato do estoque estar na linha do cliente, torna-se muito útil a troca de informações do plano de produção do cliente para que o fornecedor possa planejar e controlar seu inventário e entregas de maneira mais eficiente.

- Posse do inventário

A posse do inventário pode ser de responsabilidade do cliente, compartilhada ou do fornecedor. A administração e posse dos estoques pelo próprio fornecedor estão diretamente relacionadas ao conceito do *VMI*, sendo uma condição de entendimento claro para adoção do *VMI*. Nada mais sensato que passar ao fornecedor a posse do inventário, visto que o mesmo torna-se responsável pelo controle dos estoques. Ao se transferir a responsabilidade da posse ao fornecedor, o mesmo ganha mais autonomia para tomar decisões de planejamento e reposição, podendo utilizar com maior agilidade as informações disponibilizadas para se adequar ao planejamento de produção do cliente. Quando a posse fica com o cliente, o nível de comprometimento do inventário por parte do fornecedor pode ficar prejudicado, tornando-se uma barreira para o sucesso da parceria. No caso da responsabilidade compartilhada, o fornecedor passa a se sentir co-responsável pelo inventário e ganha-se em maior controle dos estoques. Deve-se ressaltar que ao transferir a posse do inventário para o fornecedor, o mesmo assume os custos dos mesmos, que no caso de uma parceria verdadeira, devem ser compartilhados por ambas as partes.

- Nível de monitoramento do inventário e visibilidade da demanda

No caso de cadeias de suprimentos onde não há integração, as informações sobre níveis de inventário e demanda não são compartilhadas, apenas trocam-se dados referentes aos pedidos de compras. Quando o fornecedor passa a controlar os estoques, faz-se necessário trocar dados dos níveis atuais de estoques. Num primeiro estágio de integração, essa troca pode ser feita através de relatórios diários, EDI, etc. Na integração que utiliza os dados do plano de produção para gerenciamento de inventários, os dados são trocados em tempo real, de forma que o

fornecedor possa ter tempo suficiente para se adequar às mudanças na programação do cliente.

- Decisão de reabastecimento

A responsabilidade por decidir as reposições foi dividida em três possibilidades. Na primeira, as decisões são tomadas pelo cliente, caracterizando uma cadeia de suprimentos tradicional, na qual o fornecedor não possui nenhuma ação sobre o controle de inventários do cliente. A segunda opção é uma responsabilidade compartilhada, na qual o fornecedor sugere as reposições, que são feitas mediante aprovação do cliente. Nesse caso, o fornecedor passa a controlar os estoques do cliente por meio do acesso às informações do inventário. Essa situação é típica no início de parcerias, onde a confiança não está totalmente estabelecida entre as partes. Por fim, tem-se a situação na qual o fornecedor possui autonomia para tomar por si próprio todas as decisões de reposição. Tal autonomia é importante, principalmente quando o fornecedor possui acesso ao plano de produção do cliente, de forma que o mesmo passa a ter mais flexibilidade para adequar seu plano de reposição e entregas à demanda real do cliente.

- Papel dos sistemas de informações

Os parceiros podem tratar o uso dos sistemas de informações para compartilhar dados através de trabalhos manuais, ou seja, através do uso de fax, emails, etc, o que é um fator limitador para agilizar o fluxo de informações em sistemas *VMI*. Quando o cliente e os fornecedores possuem e utilizam tecnologia da informação, tais como o uso de *EDI* e portais na internet, fica mais fácil garantir a chegada de dados aos fornecedores, para que os mesmos possam controlar os estoques. No terceiro caso, os parceiros passam a adotar o uso de sistemas avançados, tais como a integração de plataformas *ERP* entre as partes. Nesse caso a integração dos *ERP's* conjunto com *RFID* e código de barras, possibilitam maior agilidade nos processos de integração entre as empresas.

- Modelo de distribuição

O modelo de distribuição pode ser feito pelo cliente, por terceiros ou pelo fornecedor. Se a responsabilidade da entrega é do cliente, alguns dos benefícios do *VMI* esperados para o fornecedor são perdidos, tais como consolidação de cargas, otimização na distribuição das entregas, melhorias em seu próprio controle de inventários, além de diminuir a autonomia de o fornecedor decidir quando e quanto repor. Ao se introduzir um terceiro na parceria, insere-se mais fontes de incerteza e maiores atrasos no fluxo de informações, apesar de ser uma situação mais favorável do que a entrega pelo cliente. Nesse caso, o sucesso da parceria dependerá muito da habilidade do terceiro em realizar a distribuição de forma ágil e flexível. A melhor situação é que o próprio fornecedor realize as entregas, por todos argumentos citados acima. No caso do *VMI* mais avançado, no qual o fornecedor gerencia os estoques e entregas através do plano de produção do cliente, o mesmo passa a ter maior flexibilidade e agilidade no caso de alterações repentinas no plano de produção.

Definidas as dimensões do *VMI* adotadas na estrutura adaptada de Sarpola (2007), a seguir será mostrada a nova estrutura proposta, conforme figura 18.

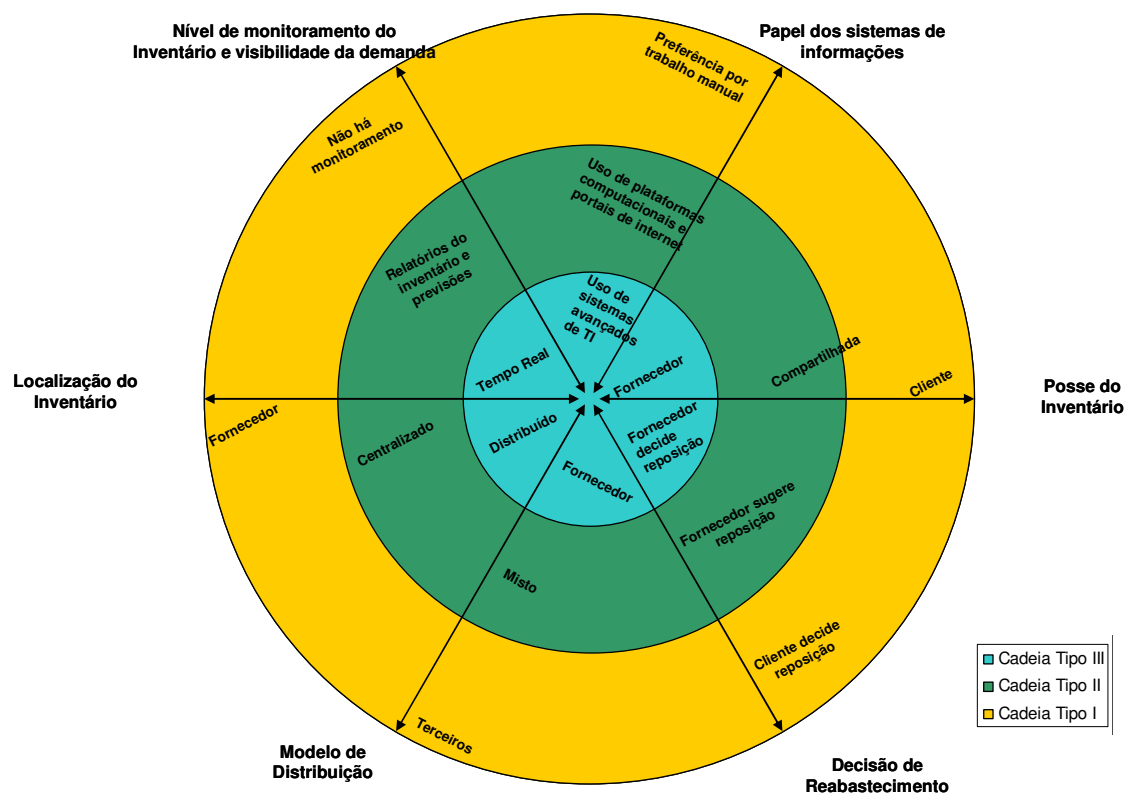


Figura 18 - Estrutura de avaliação colaborativa

Para cada eixo definido por Sarpola (2007), é feita a avaliação do fornecedor. Quanto mais próximo do centro da estrutura, mais preparado para engajar em um sistema *VMI* estará o fornecedor, o que corresponde à configuração de cadeia do tipo III. Ao se afastar do centro, maiores são as dificuldades e barreiras para a implementação do *VMI*, definidos na seção 3.2, configurando uma cadeia de suprimentos tradicional, ou seja, sem nenhum tipo de integração.

A decisão do tipo de cadeia na qual cada fornecedor deve engajar inicialmente é baseada na classificação para cada fornecedor de acordo com a estrutura proposta, que serve como apoio à tomada de decisão. A estrutura proposta não apresenta uma regra exata para determinar a classificação de cada fornecedor, podendo ser objeto de estudos futuros. Sendo assim, para o presente trabalho será adotada a seguinte regra:

- 1ª Opção: Escolha do tipo de cadeia que apresentar o maior número de dimensões nela classificadas.
- 2ª Opção: No caso de empate, fica a cargo do analista tomar a decisão.

A seguir serão apresentadas as características dos três tipos de configuração de cadeias de suprimentos que serão utilizados no modelo, bem como a dinâmica de funcionamento, regras e parâmetros.

### **5.3.1. Configuração Cadeia tipo I**

A cadeia do tipo I representa uma cadeia tradicional, caracterizada por um modelo de gestão de estoques cujas reposições são feitas pelas políticas de controle de estoques descritas na seção 3.3.1, definidas para cada integrante conforme a seguir:

- Para o fornecedor: revisão periódica (R,S)
- Para o cliente (fabricante): reposição periódica (R, S)

As equações utilizadas para os fornecedores são as equações 5 e 8, para cálculo do estoque mínimo e estoque alvo, respectivamente. Para o estoque alvo, o

cálculo da demanda durante o lead time mais o período de revisão considera a média móvel dos últimos três períodos (LT + R).

O cliente considera a previsão de demanda no cálculo do estoque alvo, que é a mesma política utilizada por Disney e Towill (2003), Bergval e Björkman (2006) e Raghunathan *et al.* (2001). Nesse caso, a previsão de demanda do cliente é calculada para R + *lead time* dias, sendo o mesmo critério adotado por Disney e Towill (2003). A expressão para cálculo do estoque alvo do cliente passa a ser:

$$S = E \min + P_{LT+R} \quad (eq.15)$$

Em que:

$P_{LT+R}$  - Previsão de demanda durante o lead time mais o intervalo entre reposições.

O sistema adotado para cálculo da previsão é o de suavização exponencial, cuja acuracidade da previsão é medida pelo erro quadrático médio.

E a demanda estimada é:

$$P_{LT+R} = \mu_t = \alpha \times D_{t-i} + (1 - \alpha) \times \mu_{t-i} \quad (eq.16)$$

Em que:

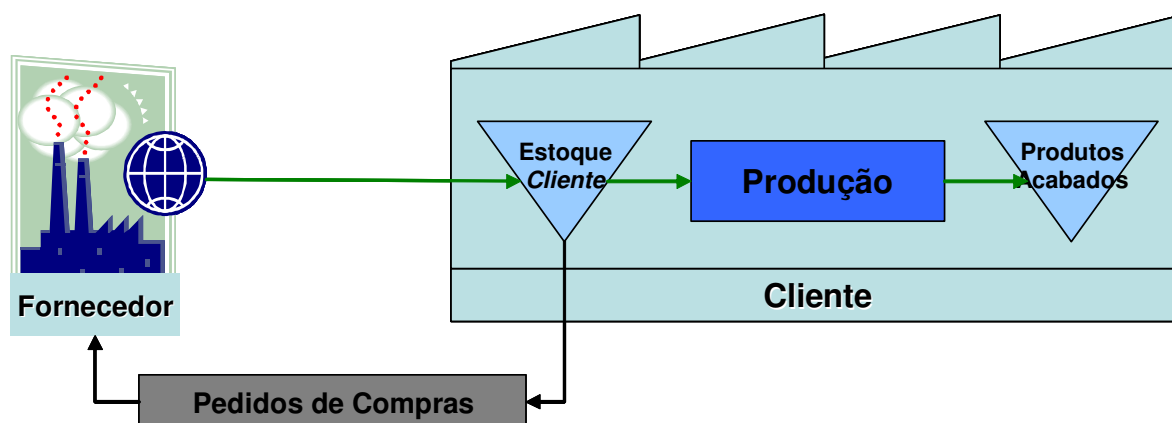
$\mu$  - estimador da demanda

$\alpha$  – fator de alisamento ( $\alpha < 1$ )

$D_{t-i}$  - Demanda no período t-i

Quanto maior for o valor de  $\alpha$  mais influência tem a última demanda observada no valor do estimador. A suavização exponencial foi escolhida como técnica de previsão da demanda baseado nos argumentos expostos por Disney e Towill (2003): de fácil implementação computacional e requer pouca armazenagem de dados; simples de entender; é a técnica mais utilizada tanto pelas indústrias quanto pelos acadêmicos.

Os pedidos são enviados ao fornecedor via email e nenhum tipo de informação é compartilhada. A única informação disponível é o pedido de compras, conforme pode ser observado na figura 19.



**Figura 19 - Configuração cadeia de suprimentos tipo I**

Como nessa configuração não há compartilhamento de informações, para o fornecedor, o desvio padrão utilizado para cálculo do estoque de segurança (equação 03) é sobre os pedidos enviados pelo cliente e, para o cliente, é sobre sua demanda diária.

Esse tipo de cadeia é altamente impactada pelas consequências advindas do “Efeito Chicote”. O fato de apenas a informação do pedido estar disponível para o fornecedor pode ocasionar rupturas de estoques ou até mesmo superdimensionamento dos mesmos. Na hipótese de a caixa de correio de emails do fornecedor apresentar algum problema ou até mesmo o sistema de envio de pedidos do cliente falhar, podem não se concretizar algumas entregas dentro do prazo desejado ou até mesmo pedidos duplicados podem ser entregues. Para que esse tipo de falha não aconteça, despendem-se muitos recursos de tempo e pessoal para realizar o diligenciamento das entregas, de forma que esse procedimento gera altos custos administrativos para ambas as partes.

Assim como na configuração de cadeias de suprimentos tradicionais (tipo 0) proposta por Holmstron *et al.* (2004), nesse tipo de configuração, existem duas decisões de reposição a serem tomadas: a do fornecedor e a do cliente. Tais decisões são tomadas de forma independente por cada um dos integrantes da cadeia, de acordo com suas necessidades internas e resultam em longos tempos de ciclo, baixo nível de serviço e investimentos desnecessários em capital de giro.

A partir do momento em que o fornecedor é acionado a repor o estoque do cliente, inicia-se o processo de entrega, onde o produto é carregado nos caminhões e transportado ao cliente e o estoque em trânsito é atualizado. Para o modelo, o *lead time* de reposição para todos os fornecedores considerados é estocástico e pode ser representado pela distribuição normal (ver anexo C). O nível de serviço requerido no sistema é definido como 95% devido à importância estratégica do material para o cliente, de forma a diminuir possíveis rupturas. Verificada a necessidade de reposição do fornecedor, o mesmo inicia seu processo de produção. No caso do fornecedor a taxa de produção diária é constante.

### 5.3.2. Configuração Cadeia tipo II

Diferente da cadeia tipo I tradicional, a cadeia do tipo II já apresenta características que envolvem aspectos do gerenciamento colaborativo de inventários proposto pelo *VMI* para integração da cadeia, podendo ser considerada um *VMI* inicial, no qual é passada a responsabilidade da decisão de reabastecimento ao fornecedor e são compartilhados dados de inventário e demanda real do cliente. Essa configuração assemelha-se à cadeia tipo I proposta por Holmstron *et al.* (2003). O fornecedor recebe dados referentes ao consumo real e dos níveis de estoques do cliente (figura 20), podendo definir quando e quanto repor, de forma a manter os níveis de estoque no cliente dentro dos limites máximo e mínimo previamente acordados, conforme figura 06 da secção 3.3.1.

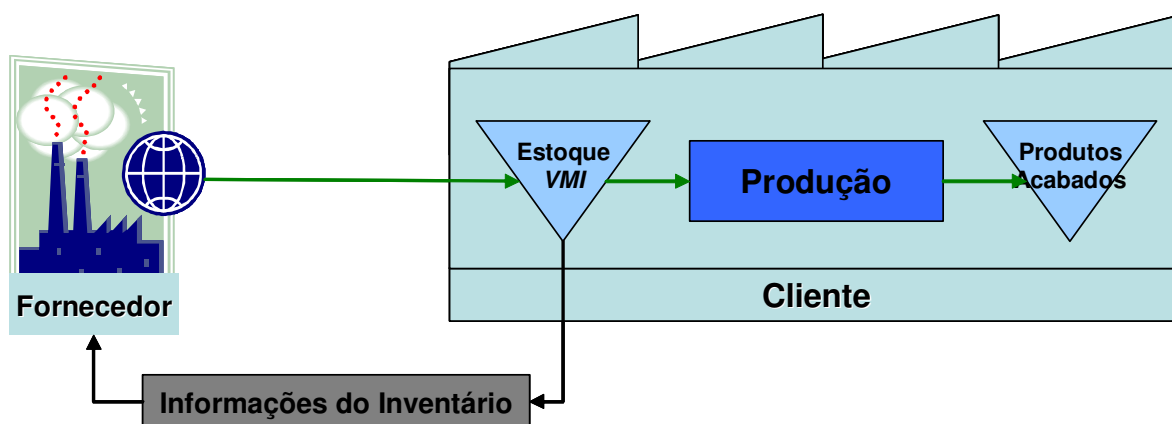


Figura 20 - Configuração cadeia de suprimentos tipo II



O avanço nesse tipo de cadeia está relacionado à maior agilidade nos fluxos de informações e materiais na cadeia ao eliminar a etapa de decisão de reabastecimento do cliente, além de permitir ao fornecedor programar melhor suas entregas. A configuração tipo II é regida pela influência da frequência de entregas feitas pelos fornecedores e pelo compartilhamento das informações. As políticas de controle de estoques para o fornecedor são as mesmas adotadas na cadeia tipo I. O modelo para o fornecedor diferencia-se do proposto por Waller *et al.* (1999) ao considerar nos cálculos dos parâmetros de reposição do fornecedor dados reais de consumo do cliente e não mais os dados dos pedidos de compras. Ou seja, considera-se para o fornecedor o desvio padrão da demanda real do cliente e não mais o desvio padrão dos pedidos enviados pelo cliente. A dinâmica de funcionamento dessa configuração é a mesma apresentada na seção 3.3.1. Para o cliente a política de controle de estoque também permanece semelhante à tipo I, exceto pelo fato de o estoque ser monitorado diariamente, de forma que pode-se considerar o sistema como revisão contínua, ou seja, o parâmetro  $R$  torna-se igual a um dia. Essa operação para o cliente é a mesma proposta por Waller *et al.* (1999).

### **5.3.3. Configuração Cadeia tipo III**

Considerando que a estratégia de produção do cliente é predominantemente “feita para estoque”, considera-se o plano de produção do cliente para a geração das previsões de demanda e cálculo dos parâmetros de estoque da política *VMI*. Nesse tipo de cadeia, o fornecedor recebe a cada  $R$  dias as informações sobre o programa de produção do cliente e planeja suas entregas para o período equivalente. O plano de produção contém qual produto o cliente estará produzindo diariamente. O fornecedor também possui informações sobre o consumo específico de seu(s) produto(s) em relação aos dois produtos fabricados pelo cliente, de forma que pode planejar de maneira mais eficiente seu gerenciamento de inventário, produção e entregas. Nessa configuração, o principal ganho para os fornecedores é possibilidade de utilizar informações diárias da produção e do consumo real do

cliente de forma que se consegue amenizar os efeitos de possíveis variações na demanda.

Em relação às configurações propostas por Holmstron *et al.* (2003), a cadeia tipo III possui características das configurações tipo III, em que as reposições são feitas de acordo com as previsões de demanda e pelo gerenciamento do inventário do cliente simultaneamente. Prioritariamente, as reposições são programadas para atender o plano de produção durante o período R. As informações do erro da previsão são consideradas nas próximas entregas, de forma que nos casos de aumento da demanda, quantidades adicionais do produto são enviadas. O inverso ocorre na situação de menor consumo pelo cliente. Caso perceba-se que o nível de estoque atual será inferior ao estoque mínimo, considerando as reposições programadas pelo plano de produção, lotes adicionais de entrega são disparados. O fornecedor busca manter os níveis de estoques pelo menos 20 % acima do estoque mínimo. Além disso, à partir do momento em que os dados de previsão de consumo e consumo real estão disponíveis, os níveis de estoque de segurança são calculados considerando-se os dados referentes aos erros de previsão, ou seja, o desvio padrão do estoque de segurança na equação 3 (secção 3.3.1) refere-se ao desvio padrão dos erros de previsão, calculados pela diferença entre o plano de produção e a demanda real. As políticas de controle de estoques para o fornecedor são as mesmas adotadas na cadeia tipo I.

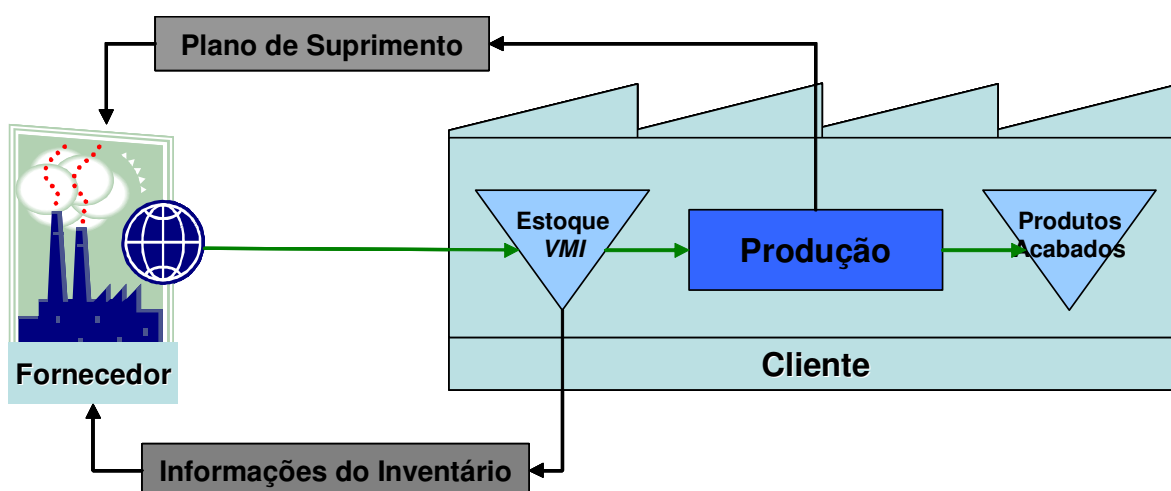


Figura 21 - Configuração cadeia de suprimentos tipo III

Definidas as configurações de cadeias de suprimentos que serão utilizadas na simulação, na próxima seção será apresentado o modelo desenvolvido.

#### **5.4. APRESENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO**

O modelo de simulação que é usado para a investigação que se segue é baseado em uma estrutura de negócios da empresa cliente e três de seus principais fornecedores de insumos, sendo concebido de forma a representar as condições de mercado das empresas em particular. O modelo de simulação para o estudo foi projetado especificamente para avaliar os possíveis benefícios que resultam da participação em sistemas *VMI*, utilizando um número variável de participantes e três níveis de integração.

O modelo proposto possui o objetivo de:

- 1) Descrever a dinâmica de funcionamento da cadeia de suprimentos de insumos de matérias-primas que atende à indústria de minério de ferro, considerando os fluxos de informações e materiais.
- 2) Entender e explicar os efeitos da adoção de diferentes níveis de adoção da estratégia de gerenciamento colaborativo de inventários *VMI*.
- 3) Avaliar a configuração mais adequada para a cadeia estudada, buscando reduzir ao máximo os custos e determinar os benefícios e investimentos necessários para ampliar os níveis de integração, servindo como apoio na tomada de decisão.

Para que esses objetivos sejam atingidos, o modelo desenvolvido utiliza dados de demanda e entregas reais para o cliente e seus principais fornecedores, considerando que as demandas são uma série de variáveis aleatórias com distribuição de probabilidade conhecidas.

São considerados dois elos na cadeia com três produtos sendo transacionados: o elo referente ao fornecedor e o referente ao cliente.

Na cadeia de suprimentos modelada são considerados vários níveis de variabilidade da demanda do cliente, lotes variáveis, *lead time* aleatório de entrega, *lead time* estacionário de produção do fornecedor com limitação de capacidade de produção e a utilização de cargas completas para entrega, ou seja, não é permitido o envio de caminhões com carga parcial. O sistema faz os ajustes necessários para atender esse requisito.

Na modelagem foram considerados: pontos de estocagem do fornecedor, histórico de pedidos, *lead times* de produção do fornecedor e de entrega, níveis de estoque em cada estágio da cadeia, estoque em trânsito e nível de serviço no cliente. O produto pode se encontrar em produção nos fornecedores, no estoque do fornecedor, em trânsito e no estoque do cliente.

Os cenários simulados serão elaborados baseados na nova cadeia de suprimentos proposta e serão comparados com a dinâmica atual da cadeia, que basicamente opera com um modelo de gestão tradicional (tipo I). Os parâmetros que serão variados para as simulações são: Tipo de cadeia de suprimentos (Tipo I, II ou III) para cada fornecedor; qualidade da previsão do plano de produção e variabilidade da demanda (aplica-se um fator ao desvio padrão à distribuição de probabilidade da demanda).

Em relação às medidas de desempenho, o modelo pretende avaliar os efeitos da integração em relação aos níveis de inventário ao longo da cadeia, Efeito Chicote, nível de serviço ao cliente e custos totais.

#### **5.4.1. Pressupostos do modelo**

A seguir serão apresentados os pressupostos assumidos no modelo desenvolvido.

- Atualizações dos níveis de inventários e cálculos dos parâmetros de estoques são feitos diariamente, visto que estão disponíveis os dados diários de demanda e entregas.

- Para facilitar a parametrização do modelo e a análise dos resultados para os fornecedores, os parâmetros período de revisão (R) e fator de segurança (FS) serão considerados iguais para todos fornecedores e produtos.
- Não será utilizado algoritmo de otimização para cálculo dos parâmetros de estoque.
- Não será feita análise do efeito do período de revisão sobre o desempenho da cadeia. Essa avaliação já foi feita na literatura e pode ser consultada no trabalho desenvolvido por Waller et al (1999).
- As políticas de gestão de estoques adotadas no modelo seguem os padrões adotados pela maioria das empresas fornecedoras de matérias- primas para minério de ferro, sendo adotado o modelo por revisão periódica com reposição até o estoque máximo. Nesse tipo de indústria, a reposição até o estoque máximo é muito utilizada, pois na maioria das vezes as empresas trabalham com silos, tanques e pátios de estocagem e repõe seus estoques até esses limites. Como não foram disponibilizados dados de limite de estocagem pelos fornecedores, adotou-se um modelo de cálculo para parametrizar o estoque máximo.
- Não foram disponibilizados dados diários de produção dos fornecedores, de forma que o tempo de produção será considerado determinístico para cada produto.
- Os *lead times* de entrega de cada produto serão considerados estocásticos e foram extraídos do sistema da empresa cliente, que possui em sua base de dados a data da emissão da nota fiscal e a data da disponibilização do material em estoque para consumo.
- Pedidos não atendidos são considerados como entregas em atraso. A pouca disponibilidade de fornecedores desse tipo de matéria-prima na região, impossibilita que a empresa cliente possa buscar alternativas de curto prazo para demandas não atendidas. Os pedidos podem ser atendidos parcialmente, mas mesmo assim considera-se o não atendimento.
- Não são consideradas perdas relativas à obsolescência e produtos perecíveis, visto que as matérias-primas para a produção de pelotas de minério de ferro são as mesmas utilizadas há anos e a validade dos produtos é superior ao tempo de estocagem. Mesmo em caso de desenvolvimento de

novas alternativas de produtos, os produtos antigos sempre são consumidos nesse tipo de indústria.

- Não são consideradas restrições de capacidade de transporte, ou seja, número de caminhões disponíveis para cada fornecedor, visto que a oferta de transporte na região não é gargalo para o sistema.
- Não serão considerados no modelo falhas humanas e falhas de tecnologia da informação, tais como email, EDI, etc.

#### 5.4.2. Definição das variáveis de decisão

As variáveis de decisão adotadas serão:

- Período de revisão dos estoques dos fornecedores e da empresa cliente
- Fator de segurança dos fornecedores e da empresa cliente

A escolha das variáveis de decisão está baseada no trabalho de Dias (2003), que desenvolveu um delineamento de experimentos para determinar as variáveis de decisão mais importantes para cadeias de suprimentos onde são adotadas políticas de ponto de pedido com revisão periódica e compartilhamento de informações.

#### 5.4.3. Modelo de custos

A função de custos do modelo é composta por:

- Custo de manutenção dos estoques;

O custo dos estoques é calculado como a soma dos custos diários de manutenção de cada item de estoque, conforme equação 14:

$$C_{Man} = \sum_{j=1}^N E_j \times C_{unitário} \times (\sqrt[30]{1+i} - 1) \quad (eq.17)$$

Em que:

$C_{Man}$  - Custo total de manter os estoques

$E_j$  - Estoque no dia j

$C_{unitário}$  - Custo unitário do produto

$N$  - Tamanho da corrida da simulação

$i$  - taxa de juros mensal para manutenção dos estoques

- Custo do envio do pedido;

O custo de processamento de pedidos é feito de acordo com a equação 18:

$$C_{Ped} = Taxa_{Pedido} \times Quantidade\ de\ Pedidos \quad (eq.18)$$

- Custos de transporte;

Os custos de transporte são calculados por quantidade transportada, sendo proporcional à distância percorrida, conforme equação 19.

$$C_{Transporte} = Taxa_{Transporte} \times Quantidade\ Transportada \times Distância\ Percorrida \quad (eq.19)$$

- Custos de ruptura;

Quando o produto não está disponível, considera-se uma ruptura do estoque. Esse custo é calculado como um percentual da receita que o fornecedor teria em caso de venda.

$$C_{Ruptura} = Taxa_{Ruptura} \times Quantidade\ Não\ Disponível \quad (eq.20)$$

- Custos de adoção do *VMI*.

Nos casos de adoção do *VMI*, cadeias tipo II ou III, considera-se um custo adicional de 0,5% sobre o custo unitário dos produtos, sendo esse número o mesmo utilizado por Boone *et al.* (2000).

## 5.5. VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

Em implementações de modelos de simulação podem ocorrer três tipos de erros (Balci, 1997):

- Erro do Tipo I – os dados gerados pelo modelo são confiáveis, mas mesmo assim são rejeitados.
- Erro do Tipo II – os resultados apresentados pelo modelo não são apropriados, no entanto são aceitos como válidos.
- Erro do Tipo III – o modelo foi mal estruturado e acaba sendo inapropriado para o uso.

Para evitar que esses erros interfiram nos resultados do modelo, recomenda-se realizar procedimentos de verificação e validação. O objetivo desses procedimentos é verificar se o modelo representa com fidelidade os aspectos em estudo associados a um determinado sistema.

Segundo Banks e Carson (1996), as etapas de verificação e validação estão entre as mais importantes e difíceis tarefas na modelagem em simulação. A validação procura reduzir as “desconfianças” e aumentar a credibilidade do modelo. Os objetivos da validação são:

- Produzir um modelo que represente o mais próximo possível o comportamento do sistema real a fim substituí-lo em experimentos.
- Aumentar o nível de aceitação e credibilidade do modelo, para que possa ser usado por gerentes e tomadores de decisão.



A verificação está relacionada à construção do modelo correto, ou seja, as seguintes questões devem ser respondidas:

- O modelo está implementado corretamente no computador?
- Os parâmetros de entrada e estrutura lógica do modelo estão corretamente representados?

A seguir será apresentado como os procedimentos de verificação e validação foram conduzidos no presente trabalho.

### **5.5.1. Verificação**

Para garantir o correto funcionamento do modelo, foram seguidas algumas sugestões propostas por Banks e Carson (1996):

- 1) Ter uma outra pessoa que cheque seu modelo computadorizado.

Além do autor da presente pesquisa, o projeto foi verificado por um Analista de Planejamento Integrado da empresa cliente. A escolha desse colaborador foi devido à sua experiência em modelos de simulação e pela área de Planejamento Integrado possuir grande influência no planejamento da produção e conseqüentemente nos consumos de cada produto.

- 2) Elaborar um fluxograma

Conforme mencionado na secção 4.4, foram elaborados fluxos dos principais processos (anexo A). Além disso, o anexo B contém um descrição detalhada do modelo implementado no ARENA. Tais fluxos incluem cada possibilidade lógica de ação que o sistema pode tomar na ocorrência de um evento. Para cada evento dos subsistemas, foi feita uma análise da lógica passo a passo.

- 3) Examinar as saídas do modelo para uma ampla variedade de parâmetros de entrada.

Para garantir que as saídas do modelo representassem o sistema e avaliar como as mesmas se comportam de acordo com as variações nos parâmetros de entrada, foram conduzidos alguns experimentos iniciais. Inicialmente foi desenvolvido um modelo piloto, contemplando o cliente e um fornecedor. Esse modelo permitiu examinar cuidadosamente as saídas do modelo para uma ampla variedade de parâmetros de entrada.

- 4) Ter impresso os parâmetros de entrada na saída da simulação

Foi gerado no modelo um arquivo de saída em Excel. Tal arquivo contém as principais variáveis do sistema e foi utilizado para certificar que estes valores não foram modificados inadvertidamente durante a simulação. Além disso, para cada variável de saída, foi feita uma conferência manual dos dados e parâmetros calculados pelo modelo.

- 5) Informar descrições precisas da utilidade de cada rotina maior.

Conforme mencionado anteriormente, o anexo B contém informações detalhadas do modelo gerado no ARENA.

- 6) Se possível, utilizar animação gráfica.

O ARENA possui o recurso de animação, o que permitiu verificar se modelo representa o sistema real. A utilização de interfaces gráficas mostrou-se muito útil para o desenvolvimento do modelo. Além disso, o uso de gráficos para representar o comportamento das principais variáveis também auxiliou bastante na identificação e solução de problemas durante a execução do projeto. O modelo da animação gráfica pode ser visto no anexo B.

### 5.5.2. Validação

O procedimento de validação objetiva certificar se a transformação entrada-saída realizada pelo modelo tem precisão suficiente para representar a mesma ocorrência procedida no sistema real. Balci (1997) sugere conduzir a validação da seguinte forma: rodar o modelo considerando as mesmas condições impostas ao sistema e comparar os dados gerado pelo modelo com o sistema real.

Segundo Menner (1995), a validação pode ser feita de forma subjetiva ou estatística. A validação subjetiva é realizada quando não é possível realizar inferências adequadas sobre o sistema em estudo. Uma forma de proceder a validação subjetiva é submeter à análise dos dados a uma equipe de especialistas, que baseados em suas experiências, podem julgar a confiabilidade dos dados gerados. Outra forma é aplicar o teste de Turing, que consiste em obter os dados gerados pelo modelo e pelo sistema, formatar esses dados para um mesmo padrão e submeter os dois conjuntos a uma equipe de especialistas. Caso os profissionais não percebam diferenças entre os dois conjuntos de dados, o modelo está validado.

A validação estatística é realizada pelo emprego de procedimentos estatísticos como os apresentados na tabela 07.

**Tabela 7- Procedimentos Estatísticos para validação de modelos**

Categoria	Procedimento estatístico	
Estatística Descritiva	Medidas de posição (amostral)	Média
		Mediana
		Moda
	Medidas de dispersão (amostral)	Variância
		Desvio padrão
		Coefficiente de variação
		Erro padrão da média
		Amplitude total
Coefficiente de correlação amostral		
Hipóteses Estatísticas	Hipótese de Nulidade	
	Hipótese alternativa	
	Teste de Z	
		Teste de Aderência
	Teste do Qui-Quadrado ( $\chi^2$ )	Teste de Independência
		Teste de homogeneidade
	Teste de F	
	Teste de t	
Teste de hipótese para dados emparelhados		

Para a aplicação dos processos destacados na Tabela 07, faz-se necessário a observância de fundamentos estatísticos, no que concerne o tipo de variável (aleatória ou discreta) e se as variáveis são independentes ou não.

Normalmente é muito difícil, caro ou consome muito tempo o uso de todas as técnicas de validação para cada modelo desenvolvido, sendo que para presente trabalho foi escolhido o processo de validação proposto por Banks e Carson (1996), dividido em três etapas:

- Montar um modelo que se identifique com seus usuários

O modelo foi construído de forma a aparentar ser razoável para seus usuários ou para as pessoas que conheçam o sistema. Os usuários potenciais do modelo foram envolvidos na construção do mesmo, desde sua conceituação até sua implementação, de forma a assegurar o grau de realismo aplicado ao modelo.

- Validação das características do modelo

As características estruturais, ou seja como o sistema opera e as simplificações e abstrações assumidas em relação à realidade foram tratadas nos tópicos 5.4.1. Pressupostos do Modelo e 5.5.1. Verificação. Em relação às características dos dados, os mesmos foram analisados na secção 5.7.1. Protocolo de Coleta de Dados.

- Validação das Transformações Entrada-Saída:

A terceira etapa não foi utilizada no presente trabalho, pois até o presente momento a empresa estudada não utiliza política de controle de estoques, sendo as decisões de reposição baseadas em visitas e solicitações por email e telefone, além de serem fortemente influenciadas por condições de preço. Na situação atual, as decisões dependem significativamente do fator humano, cuja modelagem não faz parte do presente escopo. Dessa forma torna-se impraticável utilizar dados passados para medir a precisão do modelo desenvolvido. Mesmo assim, as principais saídas do modelo foram analisadas de forma a se validar o funcionamento do modelo em relação à como sistemas reais operam. Como poderá ser visto no

capítulo 6, os resultados obtidos no modelo são compatíveis com resultados já obtidos na literatura estudada.

Suportado pelos procedimentos adotados, entende-se que o modelo se encontra sem erros de sintaxe e/ou de lógica, além de ser representativo do sistema real. A seguir serão apresentados os critérios utilizados para definir o número de replicações, o tamanho das corridas e o período transitório da simulação.

### **5.5.3. Número de Replicações**

Trata-se da quantidade de vezes que a simulação do modelo é repetida, com a mesma configuração, a mesma duração e com os mesmos parâmetros de entrada, mas com uma semente de geração dos números aleatórios diferente. Apesar dos dados e dos parâmetros de entrada serem os mesmos, como os números aleatórios gerados são diferentes, cada replicação terá uma saída diferente também. Para determinar qual o número suficiente de replicações para que se tenha consistência estatística dos resultados foi adotado o critério utilizado por Ribeiro (2003). O critério adotado para determinação do número de replicações foi definido como a escolha da replicação em que se obtivesse pela terceira vez consecutiva o mesmo valor da média acumulada para as três variáveis escolhidas, estoque dos produtos A, B e C no cliente.

Foram rodadas 400 replicações, sendo que cada replicação consiste na simulação de um ano inteiro de operação do sistema. Para cada uma das replicações foi calculada a média das variáveis utilizadas no teste. Na coluna seguinte, foi calculada a média acumulada. Os resultados obtidos podem ser vistos na tabela 08 e na figura 22.

Tabela 8 - Definição do número de replicações

Replicação	Media Acumulada Estoque Produto A (tonX10.000)	Media Acumulada Estoque Produto B (tonX1.000)	Media Acumulada Estoque Produto C (tonX10.000)
1	35	452	391
2	127	484	390
3	88	482	435
...		...	
7	134	490	505
8	125	487	495
9	128	487	484
10	123	487	490
...		...	
16	118	484	481
17	118	485	487
18	115	486	490
19	115	486	493
20	115	484	483
...		...	
29	106	485	480
30	103	484	475
31	103	484	475
32	104	484	475

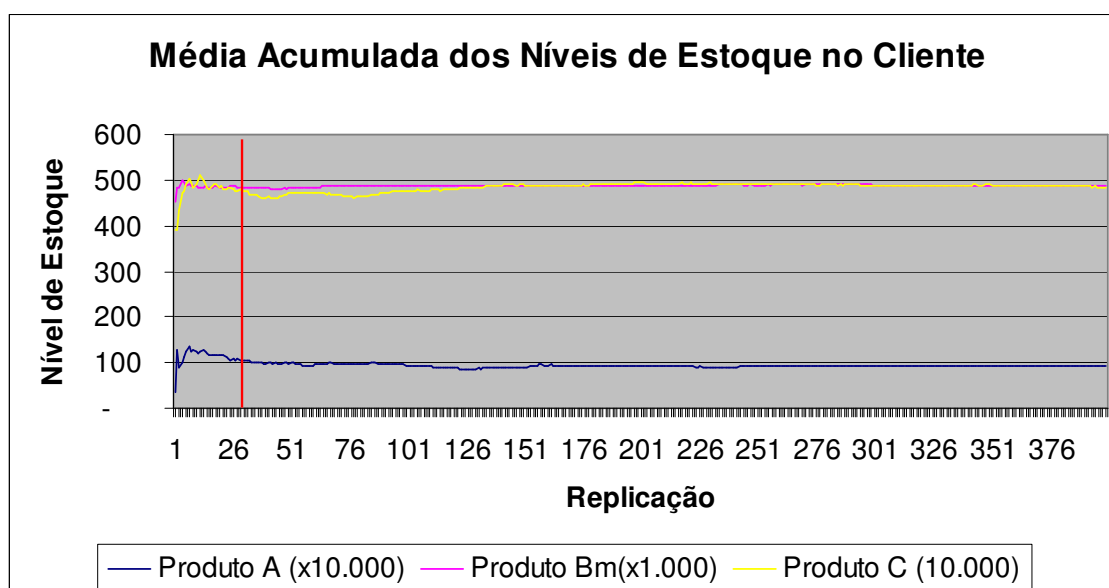


Figura 22 - Níveis médios de estoques no Cliente para 400 replicações

Sendo assim, os resultados da simulação serão calculados pela média dos resultados de 32 replicações, garantindo a consistência estatística dos mesmos. A duração de cada simulação foi em média de 29,17 minutos, sendo utilizado um computador com processador Pentium Core Duo de 1,6 Ghz e 512 Mb de memória RAM.

#### 5.5.4. Tamanho das Corridas de Simulação

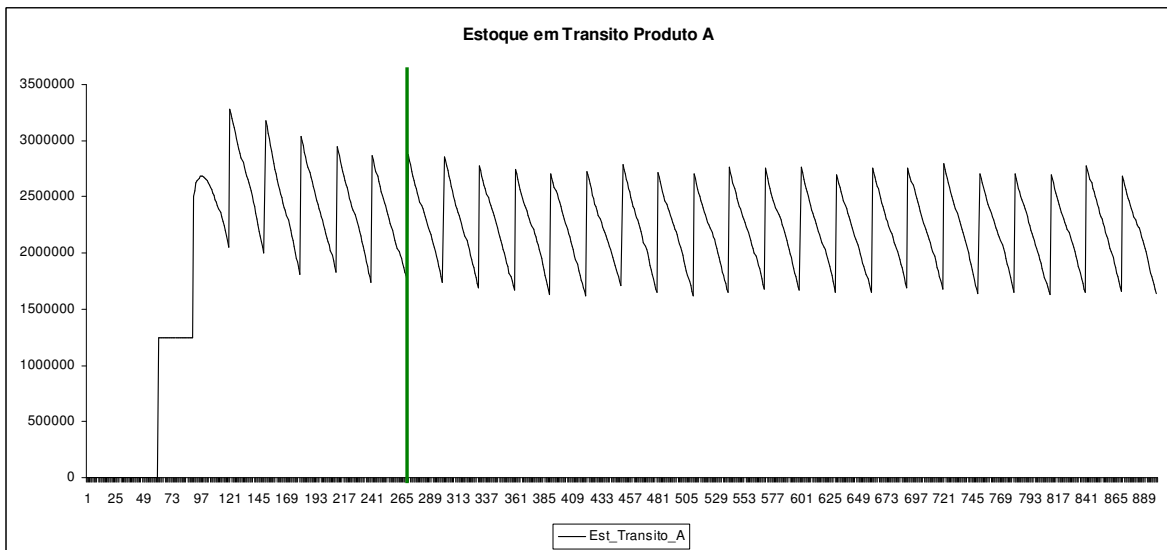
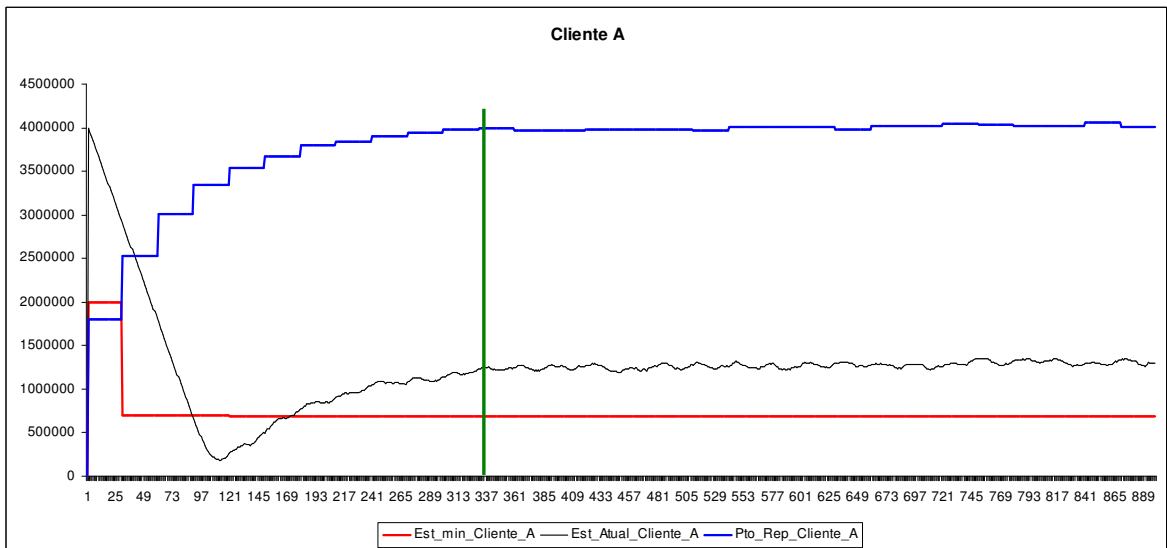
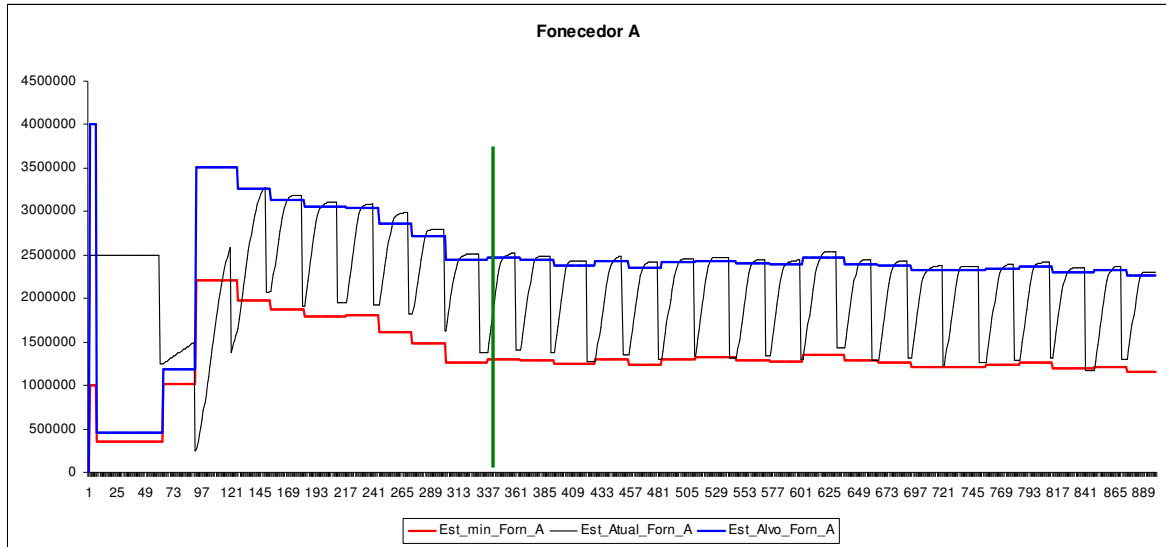
O tamanho da corrida representa o período de tempo em que uma simulação será gerada. O importante na escolha do horizonte da simulação é que o mesmo deve ser grande o suficiente para que o comportamento médio do sistema possa ser identificado através das saídas geradas (Dias, 2003). Deve-se tomar cuidado em relação à utilização de tempos muito curtos, pois pode-se comprometer os resultados da simulação.

Para o presente trabalho, o tamanho da corrida é de um ano, período o qual se deseja saber o desempenho do sistema simulado. O tempo de 365 dias é suficiente para garantir mais de um ciclo de giro dos estoques para cada um dos integrantes da cadeia de suprimentos estudada.

#### 5.5.5. Período Transitório da Simulação ou de Aquecimento

É o período que o modelo deve rodar, sem que os resultados gerados sejam registrados e façam parte da estatística a ser analisada. O descarte dos dados gerados durante o período de aquecimento é de extrema importância, pois minimizam a influência dos parâmetros iniciais adotados no modelo.

Para a definição do período transitório, foram analisados os níveis de estoques em cada um dos quatro integrantes, sendo o critério adotado semelhante ao utilizado por Dias (2003). Após a análise dos níveis de estoque, identificou-se que o sistema demora mais para estabilizar para o produto A na cadeia tipo I. Essa demora é explicada por dois fatores: o produto A possui o maior *lead time* e também o maior período de revisão. No caso, o fornecedor A revisa seus estoques a cada 30 dias, o que significa o envio de 12 pedidos ao ano, enquanto os fornecedores B e C enviam 36 e 73 pedidos, respectivamente. Como na cadeia tipo I o fornecedor controla seus estoques de acordo com os pedidos enviados pelo cliente, é necessário um período maior para que exista um número significativo de pedidos para que o fornecedor estabilize. Ao se observar a figura 23, percebe-se que a partir do dia 350 o sistema encontra-se estabilizado para o estoque no fornecedor A, de forma que a inicialização do modelo não mais influencia nas estatísticas coletadas.



**Figura 23 - Período Transitório da Simulação ou de Aquecimento**



## 5.6. EXPERIMENTAÇÃO – CENÁRIOS SIMULADOS

Após a validação e verificação, os modelos de simulação podem ser utilizados nas análises de problemas. Tais análises requerem a condução de experimentos, tais como Silva (2006): análise de sensibilidade, análise de cenários, otimização e simulação de Monte Carlo.

- **Análise de sensibilidade:**

Consiste em alterar o valor de um ou mais parâmetros do modelo e certificar o impacto sobre os valores das variáveis de saída.

- **Comparação de cenários**

É aplicado quando o objetivo é fazer comparação das diferentes combinações possíveis e escolher a melhor que atende às necessidades do tomador de decisão.

- **Otimização**

Busca obter a configuração do sistema que possibilita o melhor desempenho.

- **Simulação de Monte Carlo:**

Procede-se várias rodadas e em seqüência realiza análises estatísticas dos resultados. Dessa forma, para uma dada variável, é possível determinar as probabilidades de ocorrências de valores, bem como intervalos de confiança.

Para o presente trabalho, a etapa de experimentação foi conduzida através da comparação de cenários, pois pretende-se avaliar o comportamento da cadeia de suprimentos estudada de acordo com três níveis de integração, através da adoção gradativa do *VMI*. Antes de apresentar os cenários simulados, será feita a aplicação da estrutura de avaliação de sistemas *VMI* para cada um dos fornecedores estudados, de forma que se possa definir qual nível de integração inicial que cada fornecedor pode aderir inicialmente, sem grandes esforços e investimentos de implantação. Essa etapa se faz necessária, pois é base para definição dos cenários.

### 5.6.1. Aplicação da estrutura de avaliação de sistemas VMI

Para cada fornecedor foi aplicada a estrutura de avaliação adaptada de Sarpola (2007). Os resultados da classificação foram obtidos a partir de visita aos fornecedores e do sistema de avaliação de fornecedores da empresa cliente. Tal sistema auxilia verificar aspectos tais como gestão de processos dos fornecedores e sistemas de TI utilizados, servindo como base para avaliação do nível de monitoramento do inventário e demanda e papel dos sistemas de informações. Demais itens são avaliados pela forma como funciona a relação comercial entre os parceiros atualmente. Após a classificação em cada dimensão do VMI, percebe-se que o fornecedor A possui a maior parte de características que permitem o mesmo adotar a parceria de acordo com a configuração de cadeia do tipo II, conforme figura 24. O único item que classifica o fornecedor na cadeia tipo I é a posse de inventário, que atualmente pertence ao cliente e é devido ao modelo atual de relação entre os parceiros. A alteração da posse do inventário não requer grandes esforços que permitam para implantação do VMI, de forma que pode-se considerar que o fornecedor está apto a participar de uma cadeia tipo II.

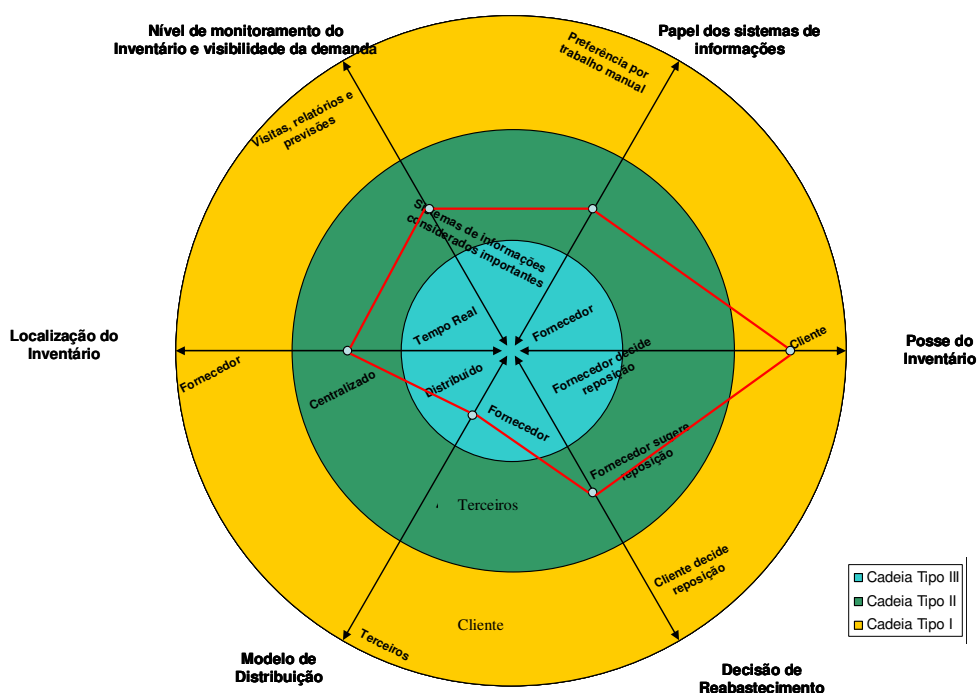


Figura 24 - Avaliação da estrutura de sistemas VMI do fornecedor A

No caso do fornecedor B, a classificação sugere que o mesmo ainda não possui os requisitos necessários para engajar no *VMI*, ou seja, sua relação com o cliente é representada pela cadeia do tipo I. Nesse caso, para que o *VMI* possa ser implantado, deve-se investir preliminarmente em sistemas de informações, o que facilita o monitoramento do inventário e visibilidade da demanda. Após o estabelecimento de um sistema de informação robusto, deve-se seguir o modelo de implantação apresentado na secção '3.3.2 Modelo Orientativo de Implantação do *VMI*', onde também são tratados aspectos referentes à decisão de reposição.

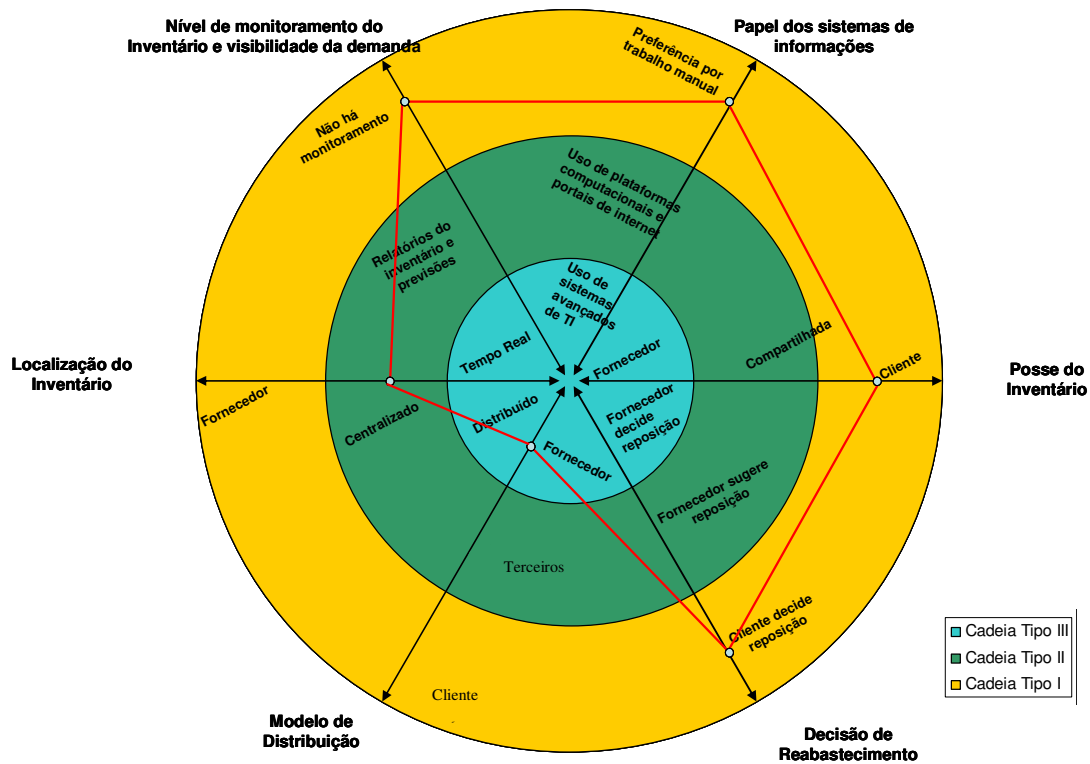


Figura 25 - Avaliação da estrutura de sistemas *VMI* do fornecedor B

Da mesma forma que o fornecedor B, o fornecedor C não está apto a aderir inicialmente ao *VMI*. As recomendações de esforços são as mesmas sugeridas para o fornecedor B.

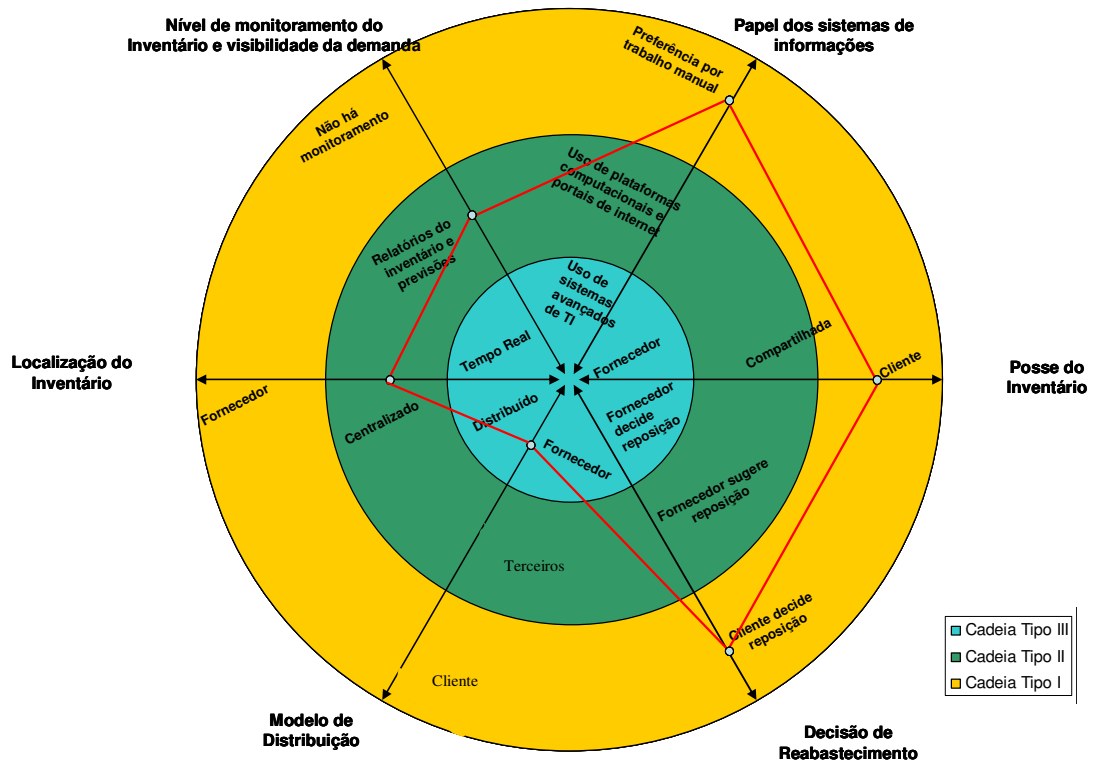


Figura 26 - Avaliação da estrutura de sistemas VMI do fornecedor C

Após a definição de qual a configuração de cadeia é mais adequada para cada fornecedor, serão apresentados os cenários definidos para a simulação.

### 5.6.2. Experimento

O objetivo do experimento é testar o impacto da aplicação do VMI sobre o desempenho da cadeia de suprimentos sob diferentes condições de operação.

Para o desenvolvimento dos cenários foram escolhidos parâmetros chave, utilizados por Boone *et al.* Waller *et al.* (1999) e Dias (2003), e que podem ser considerados como as principais decisões a serem tomadas em cadeias de suprimentos. Os níveis utilizados para esses parâmetros refletem a faixa típica de operação da cadeia de suprimentos estudada.

- 1) Tipo de cadeia: I, II ou III.

- 2) Nível de serviço no cliente: 95 %. Esses são valores desejados dos pedidos atendidos pelos fornecedores. Efetivamente, esses valores são responsáveis por determinar os níveis de estoque de segurança.
- 3) Nível de variabilidade da demanda: baixa ou alta. Para esse parâmetro, aplica-se um fator sobre o desvio padrão da demanda de cada produto (0,5; ou 1,0), diminuindo ou mantendo a variabilidade do sistema.
- 4) Precisão da previsão proveniente do plano de produção.

### 5.6.3. Cenário I

Trata-se do cenário referente à operação do sistema na qual toda a cadeia de suprimentos funciona com a configuração tradicional, ou seja, todos fornecedores possuem características da cadeia tipo I. Os resultados desse cenário foram utilizados como base para validação do modelo e servirá como base de comparação para os demais cenários.

O cenário I foi dividido em dois cenários auxiliares, que permitiram:

- Validar a lógica do modelo
- Como se comportam os estoques de segurança dos fornecedores com a utilização dos dados de pedidos do cliente.
- Avaliar os níveis de estoque e rupturas.
- Quantificar o Efeito Chicote.

Os cenários definidos são:

**Tabela 9 - Características do Cenário I**

<b>Cenário</b>	<b>Características</b>
<b>Ia</b>	Fornecedores idênticos, com todas variáveis determinísticas.
<b>Ib</b>	Fornecedores diferentes, com todas variáveis estocásticas e período de revisão atualmente utilizado.

O cenário utilizado para comparação com os demais cenários propostos será o cenário Ib, pois utiliza consumos e *lead time* estocásticos e os períodos de revisão adotados atualmente pelos integrantes da cadeia de suprimentos.

#### 5.6.4. Cenário II

O segundo cenário é baseado nos resultados da avaliação da estrutura *VMI* de cada fornecedor. Como visto na seção 5.6.1, o fornecedor A apresenta características que permitem o mesmo iniciar o *VMI* através da cadeia tipo II e os demais fornecedores devem permanecer na configuração tipo I.

O segundo cenário foi dividido em quatro cenários, sendo eles Ila, I Ib, I Ic e I Id. O objetivo da divisão é avaliar gradativamente a inclusão dos fornecedores na cadeia do tipo II. Os principais aspectos a serem analisados nesse cenário são:

- 1) Como se comportam os estoques de segurança dos fornecedores com a utilização dos dados de demanda do cliente ao invés dos dados dos pedidos de compras enviados na cadeia tipo I.
- 2) Avaliar os níveis de estoque e rupturas.
- 3) Estudar o efeito da maior frequência de reposição no sistema *VMI*.
- 4) Avaliar a quantidade de pedidos de entrega gerados quando o estoque passa a ser administrado pelo fornecedor.
- 5) Verificar se fornecedores não adeptos ao *VMI* são de alguma forma beneficiados com o aumento da integração na cadeia.
- 6) Quantificar o Efeito Chicote.

Sendo assim, considera-se:

**Tabela 10 - Características do Cenário II**

<b>Cenário</b>	<b>Fornecedor A</b>	<b>Fornecedor B</b>	<b>Fornecedor C</b>
<b>Ila</b>	Tipo II	Tipo I	Tipo I
<b>I Ib</b>	Tipo I	Tipo II	Tipo I
<b>I Ic</b>	Tipo I	Tipo I	Tipo II
<b>I Id</b>	Tipo II	Tipo II	Tipo II

### 5.6.5. Cenário III

Da mesma forma que o cenário tipo II, o cenário III foi dividido em quatro: IIIa, IIIb, IIIc e IIId. O objetivo da divisão é avaliar gradativamente a inclusão dos fornecedores na cadeia do tipo III, à partir da cadeia tipo I. Os principais aspectos a serem analisados nesse cenário são:

- 1) Como se comportam os estoques de segurança com a utilização dos dados do erro de previsão da demanda do cliente ao invés dos dados dos pedidos de compras enviados na cadeia tipo I e dos dados da demanda do cliente na cadeia tipo II.
- 2) Avaliar os níveis de estoque e rupturas.
- 3) Utilização do plano de produção para gerar previsões de demanda. Existe melhoria no controle de estoque e distribuição dos fornecedores?
- 4) Avaliar a quantidade de pedidos de entrega gerados quando o controle de distribuição passa a ser feito de acordo com o plano de produção.
- 5) Verificar se fornecedores não adeptos ao *VMI* são de alguma forma beneficiados com o aumento da integração na cadeia.
- 6) Quantificar o Efeito Chicote.

Sendo assim, considera-se:

**Tabela 11 - Características do Cenário III**

<b>Cenário</b>	<b>Fornecedor A</b>	<b>Fornecedor B</b>	<b>Fornecedor C</b>
<b>IIIa</b>	Tipo III	Tipo I	Tipo I
<b>IIIb</b>	Tipo I	Tipo III	Tipo I
<b>IIIc</b>	Tipo I	Tipo I	Tipo III
<b>IIId</b>	Tipo III	Tipo III	Tipo III

### 5.6.6. Cenário IV

Para uma avaliação mais aprofundada do uso do plano de produção nas cadeias do tipo III foram desenvolvidos mais dois cenários: Primeiro, foi gerado um

novo arquivo de plano de produção melhorado, de forma a diminuir o erro da previsão. Segundo, utiliza-se esse plano de produção melhorado considerando agora baixa variabilidade dos consumos dos produtos. O objetivo principal desse cenário é avaliar a influência da qualidade das previsões sobre o desempenho da cadeia.

**Tabela 12 - Características Cenário IV**

<b>Cenário</b>	<b>Características</b>
<b>IVa</b>	Plano de produção melhorado.
<b>IVb</b>	Plano de produção melhorado considerando baixa variabilidade dos consumos dos produtos.

## **5.7. APLICAÇÃO DO MODELO**

A seguir será apresentada a aplicação do modelo, iniciando pela coleta de dados e análise das demandas dos produtos, para na próxima seção serem apresentados os resultados obtidos.

### **5.7.1. Protocolo de coleta de dados**

Os principais dados para a condução do estudo foram os históricos de consumo dos produtos dos três fornecedores pelo fabricante e os tempos de entrega de cada material. Os dados foram coletados diretamente do SAP R3®, onde foi analisado um histórico de 3 anos de consumo dos materiais estudados. De posse da base de dados, foram utilizados os softwares *Input Analyser*® e *Minitab*® para determinação da distribuição estatística dos consumos dos materiais e dos *lead times* de entrega de cada fornecedor. Os dados correspondem ao consumo específico diário dos produtos e dos tempos de entrega por caminhão e foram



aplicados ao método de Kolmogorov-Sminorv para testar normalidade. Por consumo específico, deve-se entender como a quantidade necessária do produto para produzir 1 tonelada do produto final do cliente. Sendo assim, a demanda de cada produto no cliente será obtida pela multiplicação do consumo específico pela produção naquele dia. Para a cadeia tipo III, a previsão de consumo será feita considerando a produção prevista multiplicada pelo consumo específico médio previsto em orçamento para cada produto. O anexo C contém as curvas de distribuição para cada um dos produtos utilizados no modelo. Baseados no teste aplicado, pode-se assumir que os dados comportam-se segundo um distribuição normal. O fato dos produtos escolhidos (aglomerante orgânico, bauxita e calcário) serem consumidos diariamente ajuda a explicar o comportamento normal observado. As distribuições estatísticas de cada produto, consumo específico e tempo de entrega estão resumidos na tabela 13.

**Tabela 13 - Distribuição de Probabilidade - Consumo e Lead Time**

<b>Fornecedor</b>	<b>Consumo específico diário (kg/ton)</b>	<b>Lead Time de entrega (dias)</b>
<b>A</b>	N(0,604; 0,154)	N(59,59; 11,67)
<b>B</b>	N(1,65; 0,255)	N(1,8; 0,23)
<b>C</b>	N(14,4; 3,1)	N(0,167;0,037)

Os coeficientes de variação (CV) para cada um dos dados da tabela 12 são apresentados na tabela 14. O coeficiente de variação mede o grau de dispersão da distribuição, sendo a relação entre o desvio padrão e a média de uma determinada distribuição, expresso em percentual. Quanto maior o CV, maior será a variabilidade da variável.

Tabela 14- Coeficiente de Variação dos Produtos

Fornecedor	CV do Consumo específico diário	CV do Lead Time de entrega
<b>A</b>	25%	19%
<b>B</b>	15%	13%
<b>C</b>	22%	22%

Para definição dos estoques iniciais de cada produto no cliente, foram analisados os históricos dos níveis de estoque nos anos de 2007, 2008 e 2009. O ano de 2007 foi descartado, pois a terceira planta de pelotização do cliente ainda não havia entrado em operação. O ano de 2009 também foi descartado, pois os consumos e níveis de estoques foram drasticamente afetados pela crise financeira mundial. Sendo assim, optou-se por escolher os dados de Abril de 2008 a Novembro de 2008, que corresponde ao início de operação a plena carga da nova planta e antes do início da crise mundial.

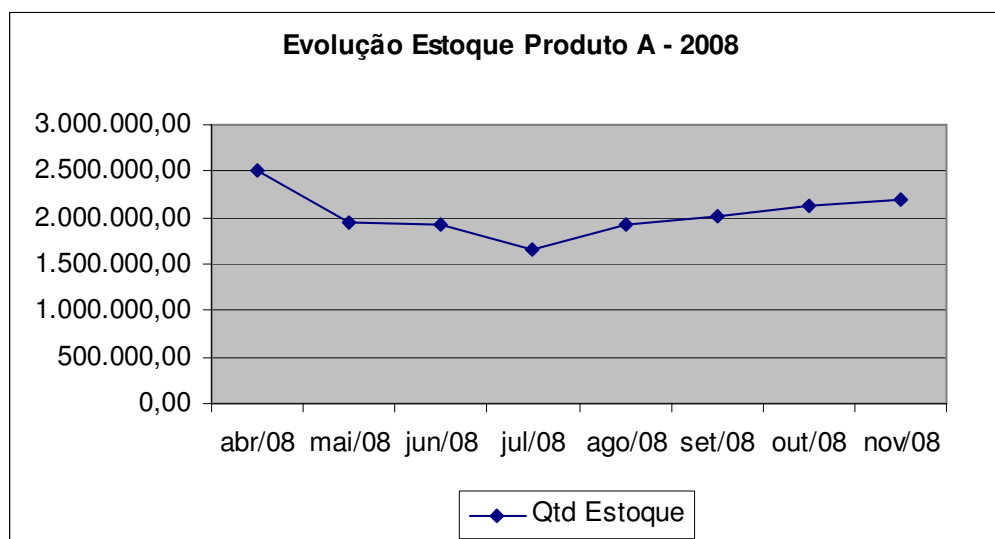
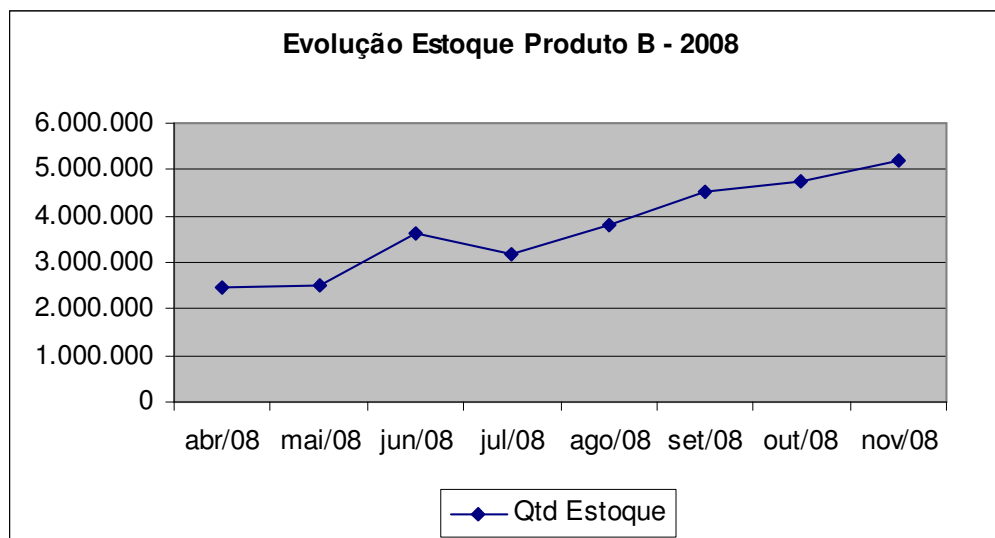
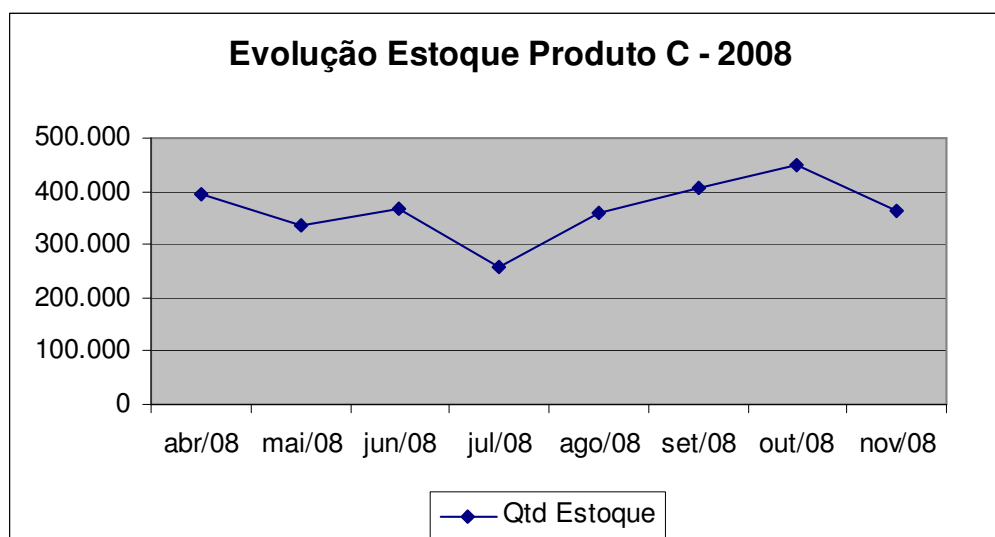


Gráfico 1 - Evolução dos Estoques do Produto A (2008)



**Gráfico 2 - Evolução dos Estoques do Produto B (2008)**



**Gráfico 3 - Evolução dos Estoques do Produto C (2008)**

Baseado no período analisado, os estoques iniciais para utilização na simulação serão definidos como o valor médio para cada produto e estão apresentados na tabela 15.

**Tabela 15 - Estoques Iniciais para cada Produto**

Produto	Estoque Inicial (ton)
<b>A</b>	2.031.257
<b>B</b>	366.436
<b>C</b>	3.100.000

Demais dados necessários para a parametrização do modelo foram estimados ou definidos por especialistas da empresa ou foram escolhidos baseados em referências bibliográficas. Tais dados e seus respectivos valores adotados estão na tabela 16. Por razões de confidencialidade de preços, não foram disponibilizados os custos dos produtos. Os dados serão apresentados em percentual.

**Tabela 16 - Dados determinísticos do modelo**

<b>Dados</b>	<b>Valor Adotado</b>	<b>Fonte</b>
<b>Custos dos produtos (A)</b>	Confidencial	NA
<b>Custos dos produtos (B)</b>	Confidencial	NA
<b>Custos dos produtos (C)</b>	Confidencial	NA
<b>Custo de Manutenção dos Estoques</b>	9% (a.a.)	Especialistas da empresa
<b>Custo do Pedido</b>	R\$ 80,00	Especialistas da empresa
<b>Custo de Ruptura</b>	%	5% do faturamento do fornecedor
<b>Custo de Transporte do produto A</b>	R\$ 160 / ton	Especialistas da empresa
<b>Custo de Transporte do produto B</b>	R\$ 102 / ton	Especialistas da empresa
<b>Custo de Transporte do produto A</b>	R\$ 43 / ton	Especialistas da empresa
<b>Nível de Serviço Médio desejado (A, B e C)</b>	95%	Waller et al (1999); Boone et al (2000); Dias (2003)
<b>Custo de adoção do VMI</b>	0.5%	Boone et al (2000)

### 5.7.2. Análise de correlação das demandas

A interação do consumo dos produtos A, B e C foi avaliada pela medida estatística de correlação de Pearson tab. e pelo gráfico de contornos explicitado pela figura 27. A correlação mostrou que as variáveis são independentes, mesmo considerando o valor de 0,476 da interação dos produtos A e C. Este comportamento retrata o período de maiores consumos do produto A associado a elevados consumos do produto C, porém sem relevância estatística.

Tabela 17 - Correlação Produtos A, B e C

Correlação Produtos A, B e C		
Produtos	A	B
B	0,285	-
C	0,476	-0,128

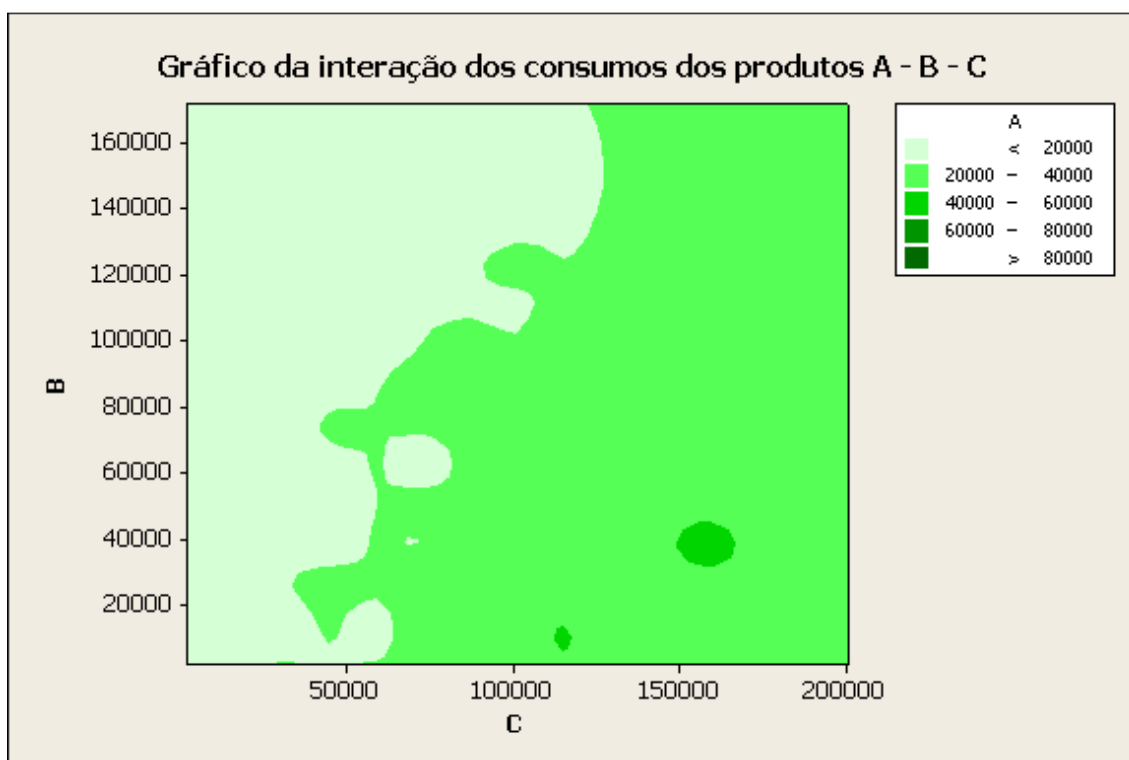


Figura 27 – Gráfico de contornos da interação entre os consumos dos Produtos A, B e C

Além disso, foram realizados testes ANOVA e T-Student para comparar o estoque médio de cada produto nos diferentes cenários simulados. A análise foi feita de seguinte forma: compara as médias do estoque do produto A na cadeia tipo I, variando-se os demais produtos entre as cadeias tipo II e tipo III. E assim sucessivamente para cada produto. A tabela 18 mostra os cenários comparados e os detalhes dos resultados obtidos podem ser consultados no anexo E.

**Tabela 18 - Cenários utilizados para comparação de médias (ANOVA e T-Student)**

<b>Cadeia Tipo I</b>		
<b>Produto A</b>	<b>Produto B</b>	<b>Produto C</b>
Cenário 1-1-1	Cenário 1-1-1	Cenário 1-1-1
Cenário 1-1-2	Cenário 1-1-2	Cenário 1-2-1
Cenário 1-2-1	Cenário 2-1-1	Cenário 2-1-1
Cenário 1-1-3	Cenário 1-1-3	Cenário 3-1-1
Cenário 1-3-1	Cenário 3-1-1	Cenário 1-3-1
<b>Cadeia Tipo II</b>		
<b>Produto A</b>	<b>Produto B</b>	<b>Produto C</b>
Cenário 2-2-2	Cenário 2-2-2	Cenário 2-2-2
Cenário 2-1-1	Cenário 1-2-1	Cenário 1-1-2
<b>Cadeia Tipo III</b>		
<b>Produto A</b>	<b>Produto B</b>	<b>Produto C</b>
Cenário 3-3-3	Cenário 3-3-3	Cenário 3-3-3
Cenário 3-1-1	Cenário 1-3-1	Cenário 1-1-3

Os resultados obtidos nos testes ANOVA e T-Student permitem que cada fornecedor seja analisado separadamente, independente do tipo de cadeia em que os outros fornecedores estejam operando.

Apresentados o caso de estudo e o modelo, a seguir serão discutidos os resultados obtidos nos experimentos realizados.

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O objetivo desse capítulo é apresentar os resultados obtidos a partir do modelo de simulação. A partir dos cenários analisados, foi possível avaliar os efeitos da adoção do *VMI* sobre a cadeia de suprimentos estudada segundo os três níveis de integração propostos.

A apresentação dos resultados será conduzida da seguinte maneira: Primeiro serão apresentados os resultados logísticos para cada produto:

- Cadeia tipo I, conforme cenário base Ib.
- Cadeia tipo II, conforme cenário IId.
- Cadeia tipo III, conforme cenário IIIId.
- Cadeia tipo III, conforme cenário IVa, considerando plano de produção melhorado.
- Cadeia tipo III, conforme cenário IVb, considerando plano de produção melhorado e diminuição da variabilidade dos consumos dos produtos.

A análise individual para cada produto foi possível devido à independência dos consumos dos produtos, como pode ser observado na secção 5.7.2. 'Análise de correlação das demandas'. Tal independência faz com que não se perceba influência da entrada de um integrante no *VMI* sobre os demais fornecedores. Dessa forma pode-se verificar como os resultados de cada produto se comportam na medida em que o mesmo avança da cadeia tipo I até a cadeia do tipo III.

Para explicar os efeitos da cadeia do tipo III sobre os estoques de segurança dos fornecedores será feita uma avaliação da qualidade da previsão. Depois serão apresentados os resultados do Efeito Chicote e como os custos da cadeia são afetados com a adoção do *VMI*.

Por fim, baseado nos resultados obtidos, serão apresentados os resultados globais da configuração sugerida pela estrutura de avaliação de sistemas *VMI* e baseado nos resultados obtidos, será sugerida uma configuração mais adequada de operação da cadeia de suprimentos estudada, bem como seus respectivos resultados.

## 6.1. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

As seguintes variáveis foram monitoradas para acompanhamento do desempenho da cadeia de suprimentos:

- Estoque no cliente
- Estoque nos Fornecedores
- Estoques de Segurança
- Estoque em trânsito
- Rupturas no cliente
- Número de Pedidos de Reposição
- Nível de serviço de cada produto
- Custos da cadeia de suprimentos
- Efeito Chicote

Os gráficos do comportamento dos estoques para cada produto podem ser consultados no ANEXO F.

### 6.1.1. Resultados Produto A

A tabela 19 mostra os principais resultados obtidos para o produto A nos diferentes tipos de configuração de cadeia

**Tabela 19 - Resultados Produto A**

Variável	Produto A				
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo III (IVa)	Tipo III (IVb)
Estoque no cliente	1.314.560	901.132	964.679	954.097	956.218
Est. Segurança (cliente)	691.612	690.941	688.688	692.343	682.322
Estoque no Fornecedor	2.025.950	179.884	188.223	158.864	128.367
Est. Segurança (forn)	1.262.495	66.811	95.713	66.586	33.412
Estoque em trânsito	2.192.322	2.215.313	2.193.579	2.199.209	2.196.409
Rupturas no cliente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Número de Pedidos	12	365	365	365	365
Nível de serviço	100%	100%	100%	100%	100%
Número de caminhões	461	448	456	456	458



Analisando os dados pode-se perceber que em todos cenários simulados, o nível de serviço dos produtos no cliente manteve-se em 100%. Esse número condiz com a realidade da cadeia estudada, onde a falta de qualquer um desses produtos acarreta em perdas de produção significativas para o cliente. Em relação ao estoque em trânsito e ao número de caminhões enviados, não é percebida nenhuma diferença entre os cenários, isso devido ao fato de a demanda anual do cliente ser a mesma em todas as situações. O fato de os produtos serem a granel e sempre enviados com caminhões cheios, não permite variar a quantidade de caminhões enviados através de consolidação de cargas. O número de reposições feitas ao cliente aumenta significativamente, o que pode ser explicado pela frequência diária de revisões de estoque quando o *VMI* é adotado.

Observa-se redução dos níveis de estoque no fornecedor e no cliente, representando o principal efeito da adoção do *VMI*. O estoque no cliente do produto A reduz 31% quando o mesmo participa da cadeia tipo II e 27% quando adota-se a cadeia do tipo III, conforme tabela 20.

**Tabela 20 – Redução de Inventário no cliente – Produto A**

Cliente	Tipo II	Tipo III	Tipo III (IVa)	Tipo III (IVb)
Produto A	31,4%	26,6%	27,4%	27,3%

Para a cadeia tipo II, as reduções para o cliente podem ser explicadas pela maior frequência de reposições feita pelos fornecedores, que no caso do *VMI* é diária. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Waller *et al.* (1999). Para a cadeia tipo III, apesar de a mesma monitorar diariamente o estoque do cliente, não se consegue redução da mesma magnitude da cadeia tipo II. Nesse caso o fornecedor planeja suas entregas de acordo com o plano de produção do cliente e utiliza os erros da previsão para enviar cargas adicionais, de forma a atender completamente a demanda. O fornecedor também busca manter os estoques 20% acima do estoque mínimo, conforme definido na seção '5.3.3. Configuração Cadeia tipo III'. No caso do produto A, os seguintes fatores ajudam a entender por que não se consegue melhores resultados na cadeia do tipo III: o alto lead time com variabilidade também muito alta associado ao alto erro da previsão e

alta variabilidade no consumo, fazem com que o modelo não consiga atingir níveis de estoques mais baixos.

Um aspecto importante deve ser observado. No caso da cadeia do tipo II, o parâmetro estoque máximo do cliente VMI, é calculado a partir da previsão durante o período  $LT + R$ . A técnica utilizada para cálculo da previsão foi a suavização exponencial, que após análise, apresentou menor erro em relação à previsão pelo plano de produção.

Para comprovar as suposições acima, foi gerada uma nova simulação considerando *lead time* e consumo com menor variabilidade e utilizando os dados de previsão provenientes da suavização exponencial. Os resultados obtidos foram estoque médio no cliente de 803.056 Kg, o que corresponde a 11% de redução da cadeia tipo III em relação à cadeia tipo II. Para o fornecedor, consegue-se uma redução ainda maior, da ordem de 36%, o que corresponde a um nível de inventário de 114.546 Kg, da cadeia tipo III para a tipo II.

Os estoques de segurança do cliente praticamente se mantêm constantes. Tal fato é explicado pelo alto valor do *lead time* bem como da variabilidade desse fornecedor, que possui grande peso no cálculo dos estoques de segurança para situações de *lead time* estocástico, conforme equação 05 apresentada na seção '3.3.1. Dinâmica de funcionamento e parâmetros do sistema VMI'.

No caso do fornecedor, o nível médio de inventário apresenta redução significativa, da ordem de 11 vezes da cadeia tipo I em relação a tipo II. Se compararmos a cadeia tipo II com a cadeia tipo III, consegue-se ainda uma redução de 1,2% e 3,0 % para os cenários IVa e IVb, como pode ser observado na tabela 21.

**Tabela 21 – Redução de Inventário no fornecedor – Produto A**

Fornecedor	Tipo II	Tipo III	Tipo III (IVa)	Tipo III (IVb)
Produto A	91.1%	90.7%	92.2%	93.7%

Essas reduções são explicadas pela utilização dos dados da demanda real e de previsão para controle de seus estoques, permitindo reduzir os níveis de inventário sem comprometer o atendimento ao cliente. Fica evidenciado que para o fornecedor, a qualidade das previsões e a menor variabilidade do consumo contribuem significativamente para a redução de seus níveis de inventário. A tabela 22 mostra os desvios padrão utilizados para cálculo do estoque de segurança do fornecedor.

Tabela 22 - Desvio Padrão ES - Produto A

Variável	Desvio Padrão ES				
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo III (IVa)	Tipo III (IVb)
Produto A	171.595	9.509	13.941	9.558	4.759
Origem	Pedido	Consumo	Erro Previsao	Erro Previsao	Erro Previsao

Pode-se observar que para a cadeia tipo I o desvio padrão dos pedidos é cerca de 17 vezes maior se comparado aos desvios do consumo real e dos erros da previsão. Tal fato ajuda a explicar o quanto a cadeia do tipo I para o fornecedor A é afetada pelo Efeito Chicote, que será discutido no tópico '6.1.5. Efeito Chicote'. Em relação à cadeia do tipo III, a má qualidade da acuracidade das previsões provenientes do plano de produção fica novamente evidente, onde o desvio padrão do erro da previsão é 46% superior ao desvio padrão do consumo, que já é alto também. Conseguir-se uma melhora nos resultados quando considera-se menor variabilidade no consumo, o que foi simulado para o cenário IVb.

### 6.1.2. Resultados Produto B

Os resultados simulados para o fornecedor B são apresentados na tabela 23. Da mesma forma que o fornecedor A, o nível de serviço para o produto B manteve-se em 100% para todos os cenários simulados.

Tabela 23 - Resultados Produto B

Variável	Produto B				
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo III (IVa)	Tipo III (IVb)
Estoque no cliente	949.454	485.782	475.539	474.606	473.711
Est. Segurança (cliente)	328.733	327.947	328.801	328.710	327.104
Estoque no Fornecedor	852.843	323.430	355.964	322.606	286.993
Est. Segurança (forn)	394.700	86.067	123.596	86.106	43.088
Estoque em trânsito	139.774	142.753	142.375	143.289	142.526
Rupturas no cliente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Número de Pedidos	36	365	365	365	365
Nível de serviço	100%	100%	100%	100%	100%
Número de caminhões	1.229	1.244	1.248	1.247	1.248

Os níveis de estoque no cliente foram reduzidos em 49,9% e 50%, conforme tabela 24, quando adota-se a cadeia tipo II ou a cadeia tipo III, respectivamente.

**Tabela 24 - Desvio Padrão ES - Produto B**

Cliente	Tipo II	Tipo III	Tipo III (IVa)	Tipo III (IVb)
Produto B	48,8%	49,9%	50,0%	50,1%

Os efeitos da adoção da cadeia do tipo III para o produto B são um pouco melhores do que para o produto A, principalmente devido ao menor *lead time*, o que permite ao fornecedor maior agilidade no controle do fluxo de materiais. Além disso, o fornecedor B é o que possui menor variabilidade do lead time e do consumo, sendo o seu CV igual a 13% contra 19% do fornecedor A para o lead time e 15% contra 25% para o consumo, o que também facilita o controle do fluxo de materiais na cadeia. O CV menor também permite redução dos estoques de segurança no cliente.

Para avaliar quais aspectos poderiam ser modificados no caso do produto B de forma que o mesmo possa apresentar melhores resultados na cadeia tipo III, foi gerada uma simulação considerando os seguintes aspectos: variabilidade do lead time e do consumo reduzida e utilizando os dados de previsão provenientes da suavização exponencial. Sendo assim, para essa configuração da cadeia tipo III obteve-se uma redução de 50% do estoque do cliente e 14% para o fornecedor em relação à cadeia do tipo II.

O nível médio de inventário para o fornecedor é reduzido em 62% da cadeia tipo I em relação a tipo II e 58% em relação a tipo III, como pode ser visto na tabela 25.

**Tabela 25 - Desvio Padrão ES - Produto B**

Fornecedor	Tipo II	Tipo III	Tipo III (IVa)	Tipo III (IVb)
Produto B	62,1%	58,3%	62,2%	66,3%

A redução da cadeia tipo I para a cadeia tipo II é devida à utilização dos dados da demanda real e de previsão para controle de seus estoques, permitindo reduzir os níveis de inventário sem comprometer o atendimento ao cliente. Fica evidenciado que para o fornecedor B, a menor variabilidade do consumo contribui para a redução de seus níveis de inventário. A tabela 26 mostra os desvios padrão utilizados para cálculo do estoque de segurança do fornecedor.

Tabela 26 - Desvio Padrão ES - Produto B

Variável	Desvio Padrão ES				
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo III (IVa)	Tipo III (IVb)
Produto B	51.990	15.781	25.022	15.848	7.872
Origem	Pedido	Consumo	Erro Previsao	Erro Previsao	Erro Previsao

As reduções nos níveis de inventário para o fornecedor B apesar de serem significativas, são menores que as obtidas para o fornecedor A. Isso por que, a relação entre o desvio padrão dos pedidos e do consumo é de 3,3 vezes, contra 17 do produto A. Nesse caso, observa-se que o fornecedor B é menos afetado pelo Efeito Chicote do que o fornecedor A. Mesmo assim, a utilização dos dados de demanda real consegue diminuir as distorções na demanda, permitindo que o fornecedor opere com níveis de inventários menores. Um aspecto que deve ser considerado é o alto desvio padrão do erro da previsão, que é apenas a metade do desvio padrão dos pedidos e 59% superior ao desvio padrão dos consumos, o que permite inferir a razão pela qual na cadeia tipo III o fornecedor possui mais estoque do que na cadeia tipo II, com exceção para o cenário IVb, no qual utiliza-se a previsão melhorada associada a uma menor variabilidade do consumo.

### 6.1.3. Resultados Produto C

Os resultados simulados para são apresentados na tabela 27. Os níveis de serviço, estoque em trânsito e rupturas se mantiveram iguais em todos os cenários e as razões são as mesmas apresentadas para os produtos A e B.

Tabela 27 - Resultados Produto C

Variável	Produto C				
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo III (IVa)	Tipo III (IVb)
Estoque no cliente	3.023.385	1.837.432	1.797.133	1.697.631	1.593.892
Est. Segurança (cliente)	1.225.177	1.227.885	1.227.490	1.225.314	942.641
Estoque no Fornecedor	3.536.413	1.540.003	1.476.468	1.111.605	869.158
Est. Segurança (forn)	1.268.587	709.010	1.062.314	708.720	354.488
Estoque em trânsito	841.712	868.426	789.418	881.076	887.253
Rupturas no cliente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Número de Pedidos	73	365	365	365	365
Nível de serviço	100%	100%	100%	100%	100%
Número de caminhões	10.297	10.571	10.823	10.748	10.885

Analisando os dados de níveis de estoque para o cliente, observa-se uma redução de 39% em relação à cadeia tipo II e tipo I, cuja justificativa é a mesma dos fornecedores A e B. Diferentemente dos demais produtos, no caso do produto C, os resultados apontam diminuição dos níveis de estoque na cadeia do tipo III em relação à tipo II da ordem de 2,2%, conforme tabela 28.

**Tabela 28 - Resultados Produto C**

Cliente	Tipo II	Tipo III	Tipo III (IVa)	Tipo III (IVb)
Produto C	39,2%	40,6%	43,8%	47,3%

Se considerarmos os cenários IVa e IVb, as reduções em relação à cadeia tipo II são de 8% e 13%, respectivamente. Basicamente, essas reduções são conseguidas devido ao baixo lead time desse fornecedor, o que permite ao mesmo controlar facilmente o fluxo de materiais na cadeia, mantendo o atendimento ao cliente. A avaliação dos custos na secção da cadeia como um todo '6.1.4. Análise de custos' irá apontar se é viável o fornecedor C integrar a cadeia do tipo III

Para o produto C, foi necessário fazer um ajuste no estoque de segurança do cliente, pois como seu *lead time* é em horas, o valor calculado para o estoque de segurança do cliente ficava muito pequeno, sendo suficiente apenas para algumas horas de produção, o que gerava alto número de rupturas. Dessa forma estabeleceu-se que o cliente deveria possuir no mínimo um estoque de segurança suficiente para manter cheio um silo do material, o que equivale a 1,5 dias de consumo, sendo esse valor utilizado para todos os tipos de cadeia.

Analisando os dados do fornecedor, temos que o nível de estoque reduz em 56% para a cadeia tipo II e mais 4% se comparado à cadeia tipo III, como pode ser observado na tabela 29.

**Tabela 29 - Resultados Produto C**

Fornecedor	Tipo II	Tipo III	Tipo III (IVa)	Tipo III (IVb)
Produto C	56,5%	58,2%	68,6%	75,4%

Se a comparação for feita com os cenários IVa e IVb, as reduções são ainda mais significativas: 28% e 44% da cadeia tipo III para a tipo II. Interessante observar que mesmo com um estoque de segurança maior na cadeia tipo III em relação à cadeia tipo II, o fornecedor consegue reduzir seu inventário, também influenciado pela maior agilidade devido ao baixo *lead time* e grande volume de entrega de caminhões.

Tabela 30 - Desvio Padrão ES - Produto C

Variável	Desvio Padrão ES				
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo III (IVa)	Tipo III (IVb)
Produto C	489.522	191.799	289.151	193.689	95.652
Origem	Pedido	Consumo	Erro Previsao	Erro Previsao	Erro Previsao

As reduções nos níveis de estoque de segurança para o fornecedor C são significativas e podem ser explicadas pela redução no desvio padrão utilizado para o cálculo do mesmo. Nesse caso, observa-se que da cadeia tipo I para a cadeia tipo II a redução é de 60%. Para os cenários IVa e IVb as reduções são de 60 e 80%, respectivamente. Novamente a utilização dos dados de demanda real consegue diminuir as distorções na demanda, permitindo que o fornecedor opere com níveis de inventários menores. A má qualidade do plano de produção faz com que o desvio padrão do erro da previsão seja 50% superior ao desvio do consumo, tornando nessa situação o estoque mais alto. A melhor situação foi com a utilização da previsão melhorada associada a uma menor variabilidade do consumo.

No caso do fornecedor C, foi proposto um novo cenário considerando menor variabilidade do consumo e utilizando os dados de previsão provenientes da suavização exponencial. Nessa situação foi observado que o estoque do cliente passa para 1.499.874 Kg, representando uma redução de 18% em relação à cadeia tipo II e para o fornecedor o estoque reduz em 49% comparando-se também com a cadeia do tipo II.

Os resultados dos cenários melhorados para todos os produtos mostram a influência das variabilidades em sistemas reais sobre o desempenho da cadeia de suprimentos.

#### 6.1.4. Análise de Custos

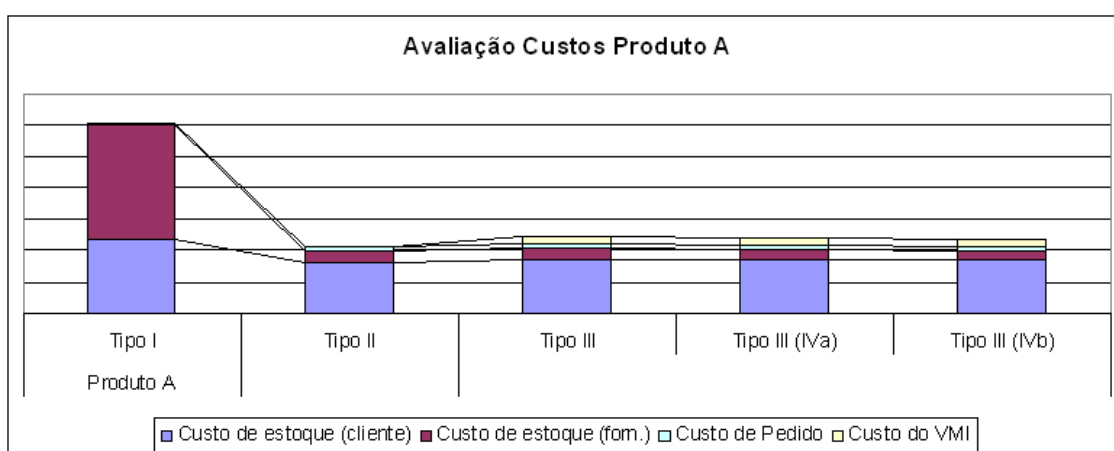
As figuras 28, 29 e 30 apresentam os dados de custos obtidos no modelo considerando as seguintes situações para os produtos:

- Cadeia tipo I
- Cadeia tipo II
- Cadeia tipo III

- Cadeia tipo III – cenário IV(a)
- Cadeia tipo III – cenário IV(b)

Como pode ser observado nas secções anteriores, o fato de ser entregue toda a demanda anual e os caminhões somente entregarem carga completa, não permite reduções nos custos de transporte. Além disso, em todos os cenários não foram identificadas rupturas. Sendo assim, a análise de custos será baseada nos custos de manutenção dos estoques, custos de pedidos e custo de adoção do *VMI*. Para preservar a confidencialidade dos dados, os resultados de custos serão apresentados em percentual.

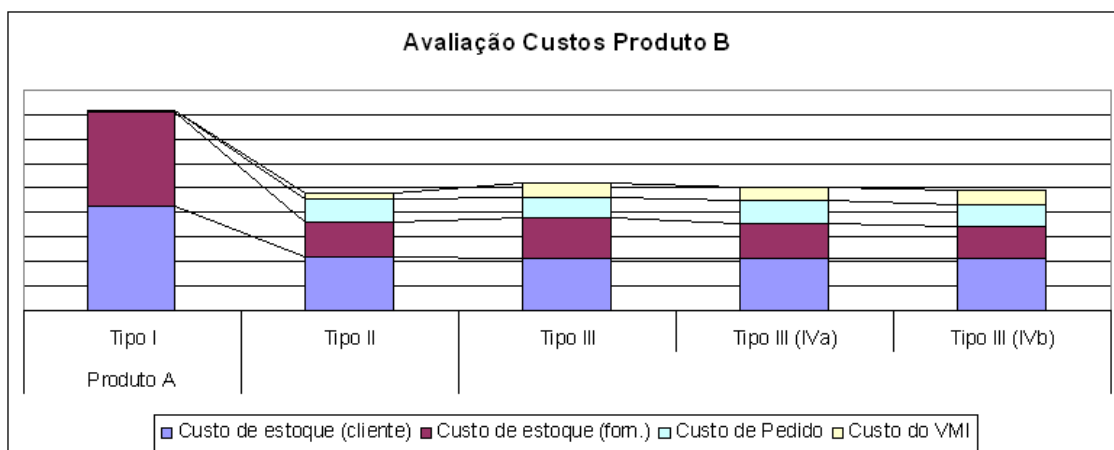
Para o produto A, percebe-se uma maior redução do custo total, motivada pela grande redução dos estoques no fornecedor, que foi extremamente beneficiado pelo compartilhamento de informações. Como pode-se perceber, os custos totais da cadeia reduzem em 65% e 60% para os cenários de cadeia tipo II e III, respectivamente, em relação ao modelo referente à cadeia do tipo I. Para o fornecedor A, na cadeia tipo II, não foi considerado o custo de implantação do *VMI*, pois segundo a estrutura de avaliação de sistemas *VMI*, o mesmo está apto a participar da cadeia do tipo II. Para esse fornecedor, devem ser avaliados os esforços e benefícios de se investir na cadeia do tipo III, o que será discutido na secção '6.1.9. Configuração proposta para a cadeia estudada'.



**Figura 28 - Custos Produto A**

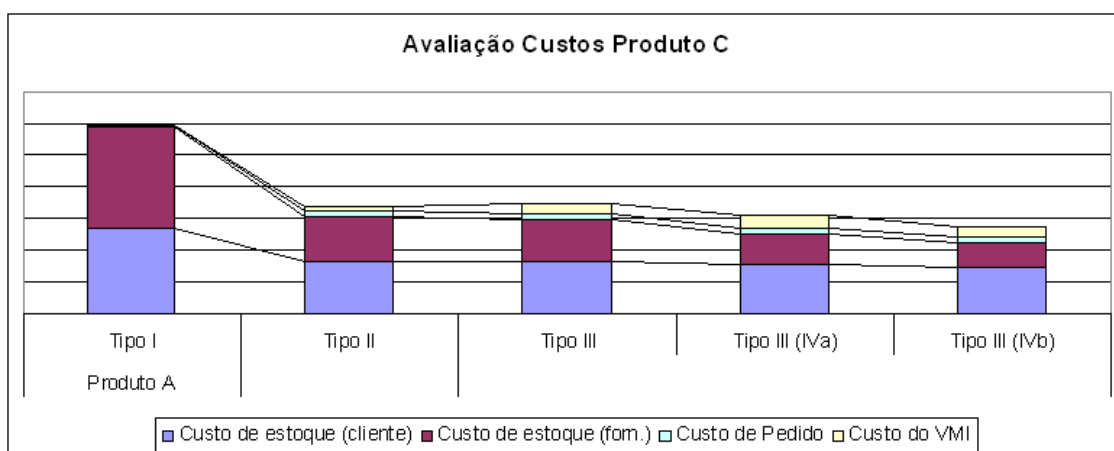


No caso do produto B, temos que os custos foram reduzidos em 38% e 31% com a adoção das cadeias tipo II e tipo III. No caso desse fornecedor, são considerados os custos de implantação do VMI da cadeia tipo I para a tipo II e desta para a tipo III, pois na avaliação este fornecedor ainda não está apto para iniciar o VMI, sem que sejam feitos investimentos.



**Figura 29 - Custos Produto B**

Em relação ao produto C, temos os custos reduzidos em 40% e 35% para utilização das cadeias tipo II e III. Para esse caso específico, vale ressaltar que o uso da previsão melhorada e a redução da variabilidade do consumo, podem permitir que as reduções nos custos alcancem até 48%.



**Figura 30 - Custos Produto C**

Os custos diretos com transporte não sofrem alterações entre os tipos de cadeia estudados. Isso por que a demanda anual pelos produtos é a mesma para todos os cenários e os produtos são entregues em caminhões de mesma capacidade e sempre com carga completa. Apesar disso, pode-se perceber um ganho intangível quando da adoção do *VMI*, pois ao se aumentar a frequência de reposição, o fornecedor necessita de uma frota menor, de forma que os caminhões podem ser utilizados para fazer mais entregas distribuídas ao longo do ano. Na cadeia tradicional, ao se receber um pedido, o fornecedor necessita de enviar um grande número de caminhões em um curto espaço de tempo. Ou seja, o fornecedor precisa ter uma frota maior disponível para poder atender as demandas pontuais do cliente.

#### **6.1.5. Efeito Chicote**

Os resultados obtidos indicam que o Efeito Chicote pode ser drasticamente reduzido através da adoção do *VMI*. Para o presente trabalho, foi utilizado o mesmo indicador proposto por Chen *et al.* (2000) para determinação do Efeito Chicote na cadeia. Esse indicador traduz basicamente a relação entre a Variância dos Pedidos e Variância da Demanda.

Com a adoção do *VMI*, o perfil das reposições torna-se mais regular, aproximando-se a curva de consumo dos produtos no cliente às entregas feitas pelos fornecedores. A diminuição do Efeito Chicote pode ser explicada principalmente pelo aumento na frequência de pedidos. O fato de os pedidos se aproximarem da demanda do cliente torna o fluxo de materiais mais estável, permitindo um melhor controle do inventário e distribuição.

Percebe-se que as maiores reduções no Efeito Chicote são conseguidas para o produto A, que possui maior *lead time* e maior período de revisão na cadeia tipo I. Quanto menor forem o *lead time* de entrega e o período de revisão, menos a cadeia é afetada pelo Efeito Chicote, como pode ser observado na tabela 31. Nas figuras 29, 30 e 31 o eixo das abscissas representa a variância da demanda observada pelos fornecedores e o eixo das ordenadas a variância dos pedidos feitos pelo cliente. O círculo representa o Efeito Chicote. A linha tracejada nas figuras representa os pontos nos quais valor do Efeito Chicote é igual a 1.

Tabela 31 - Efeito Chicote dos Produtos A, B e C.

Produto A			
Cenário	Variância da Demanda (/1000000)	Variância dos Pedidos (/1000000)	Efeito Chicote
Ic (1_1_1)	90	29.445	326
Ila (2_1_1)	90	9.096	101
Ild (2_2_2)	90	9.769	108
IIId (3_3_3)	90	201	2,2
IVa (3_3_3)	90	139	1,5
IVb (3_3_3)	23	96	4,2
Produto B			
Cenário	Variância da Demanda (/1000000)	Variância dos Pedidos (/1000000)	Efeito Chicote
Tipo I	249	4.628	19
Tipo II	249	2.703	11
Tipo III	249	668	2,7
Tipo III (IVa)	249	332	1,3
Tipo III (IVb)	62	137	2,2
Produto C			
Cenário	Variância da Demanda (/1000000)	Variância dos Pedidos (/1000000)	Efeito Chicote
Tipo I	36.787	280.521	7,63
Tipo II	36.787	239.632	6,51
Tipo III	36.787	80.147	2,18
Tipo III (IVa)	36.787	37.397	1,02
Tipo III (IVb)	9.153	9.256	1,01

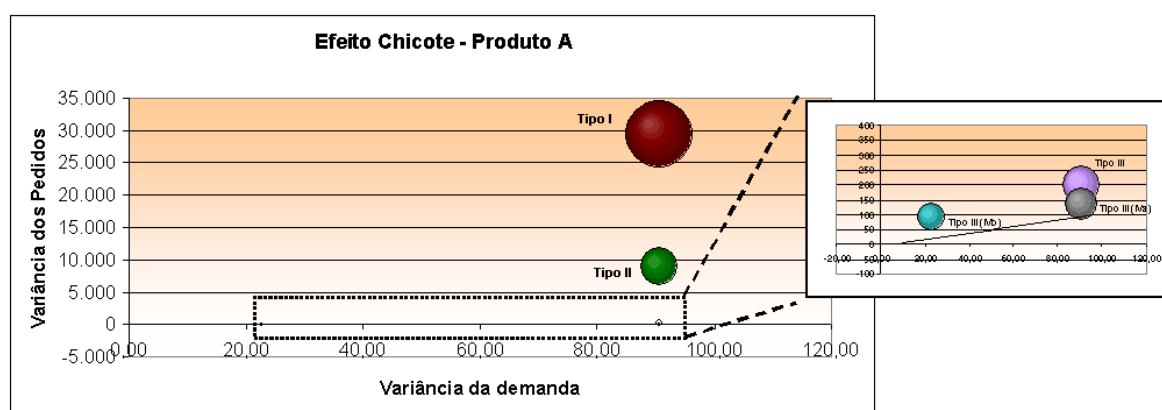
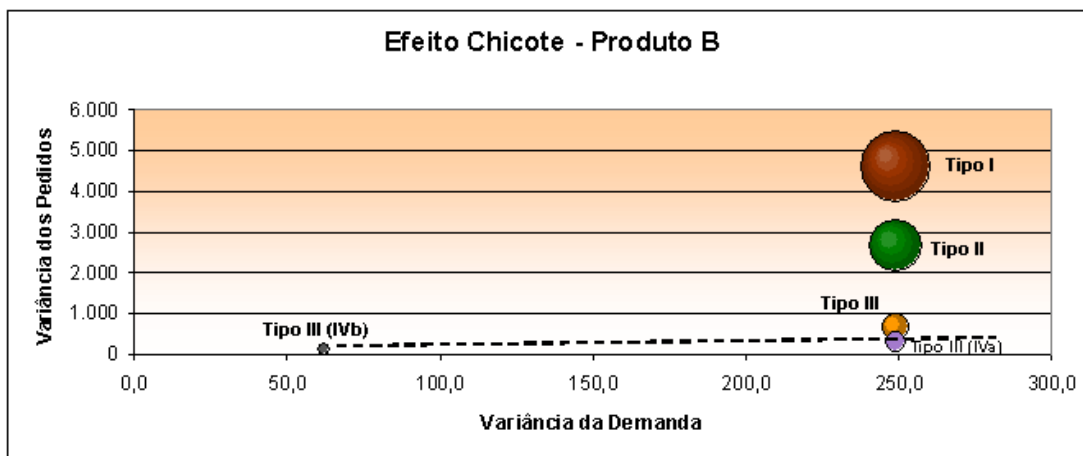
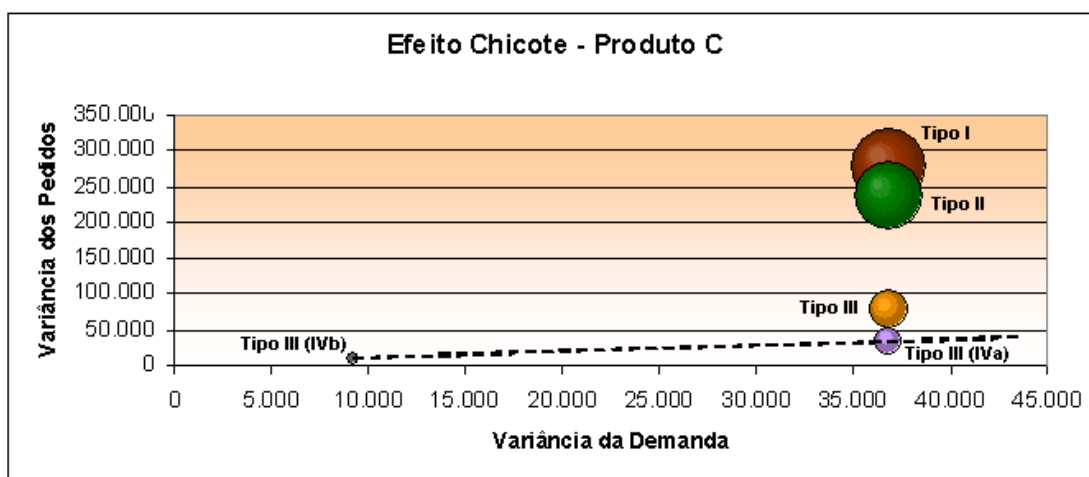


Figura 31 - Efeito Chicote Produto A



**Figura 32 - Efeito Chicote Produto B**



**Figura 33 - Efeito Chicote Produto C**

É importante ressaltar, que mesmo para lead time baixo, como no caso dos fornecedores B e C, o Efeito Chicote é reduzido na faixa de 42% e 85% da cadeia tipo I para as cadeias tipo II e III para o produto B e 15% e 72% para o produto C.

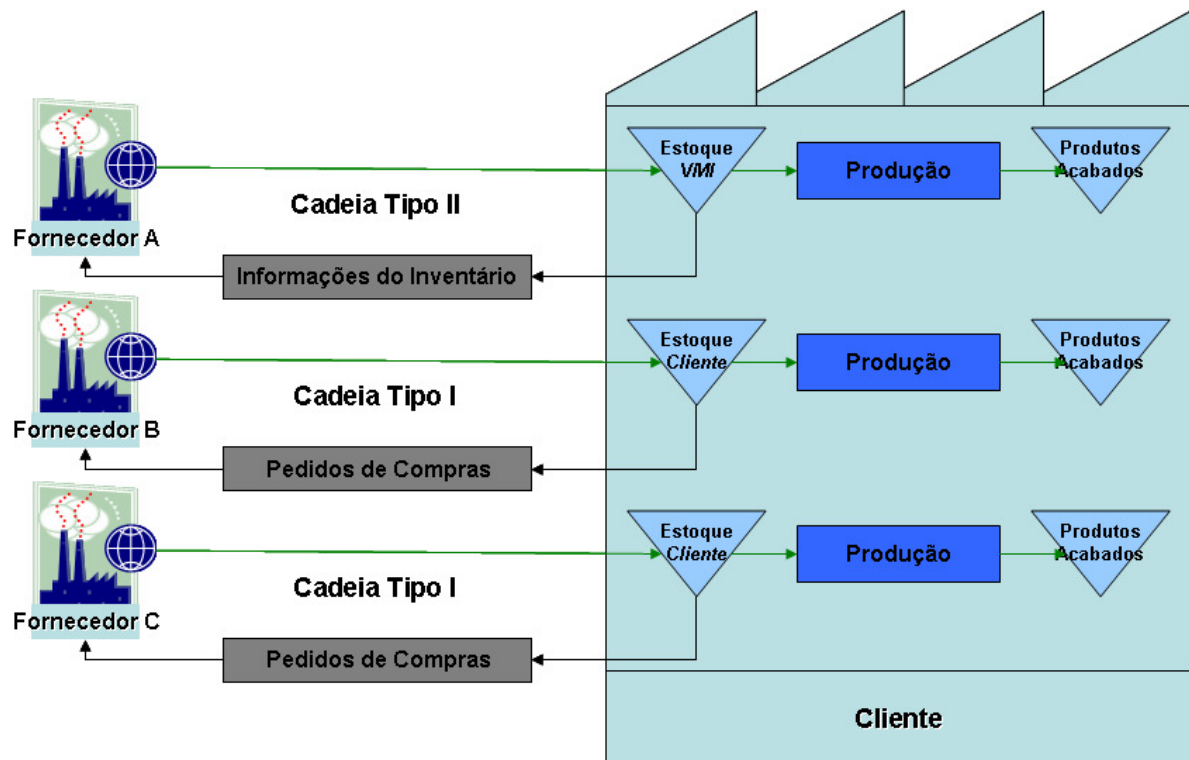
Esses resultados mostram a importância do compartilhamento de informações para que os resultados obtidos na pesquisa possam ser alcançados na prática.

#### **6.1.6. Configuração proposta pela estrutura de avaliação colaborativa**

De acordo com a seção '5.6.1. Aplicação da estrutura de avaliação de sistemas VMI', ficou estabelecido que dos fornecedores analisados, apenas o fornecedor A estaria apto a entrar na parceria VMI sem a necessidade de grandes

investimentos, restando basicamente as partes iniciarem a negociação da parceria e definir claramente o novo processo dos fluxos de materiais e informações. A partir dessas definições sugere-se iniciar testes pilotos para acompanhamento do desempenho da parceria.

Dessa forma, considerando a situação atual, a cadeia estudada estaria configurada da seguinte maneira:



**Figura 34 - Configuração da Cadeia segundo avaliação de sistemas VMI**

Baseado nos resultados obtidos, é possível ampliar ainda mais os ganhos da cadeia como um todo, através do investimento em recursos que possibilitem os fornecedores B e C aderir ao VMI. Essa análise será feita a seguir, na qual será apresentada a configuração mais adequada para a cadeia operar.

### 6.1.7. Configuração proposta para a cadeia de suprimentos

De acordo com os resultados apresentados, a configuração de cadeia de suprimentos mais adequada, considerando os dados utilizados, está representada pela figura 35.

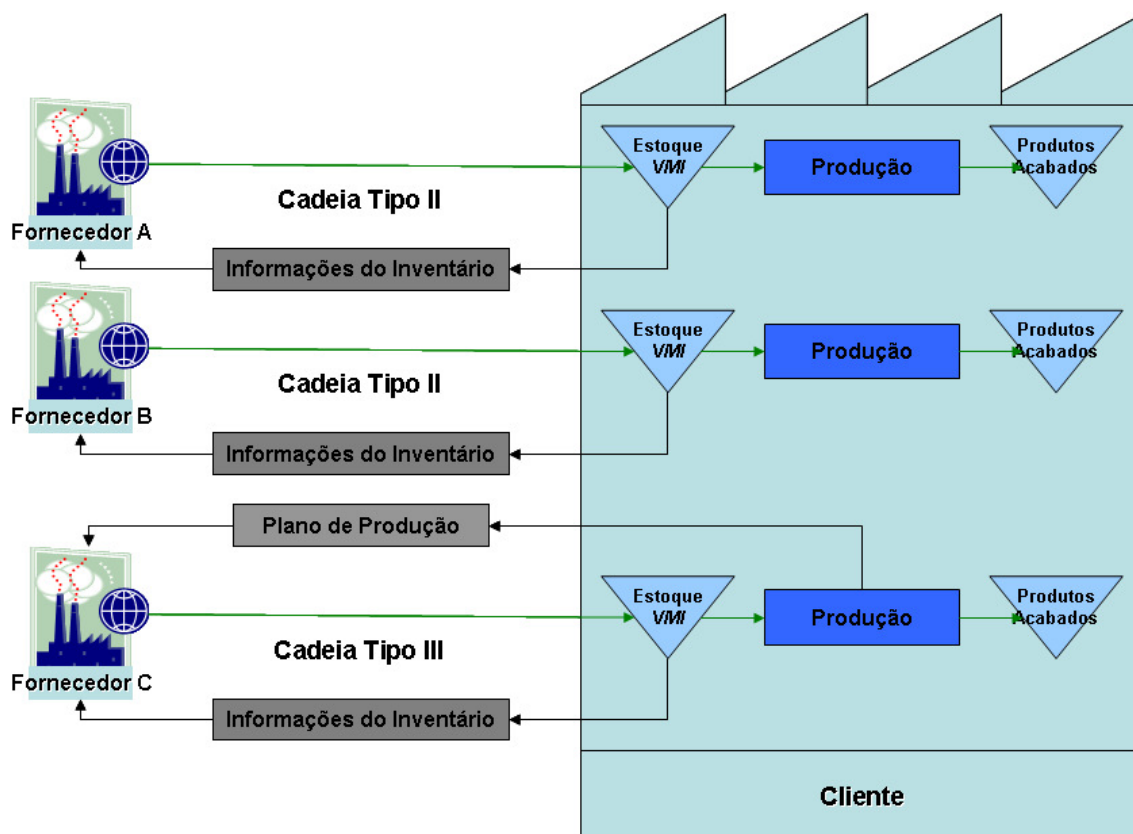


Figura 35- Configuração proposta para a cadeia estudada

Sugere-se manter o fornecedor A na cadeia tipo II, sem a necessidade de realizar investimentos para que o mesmo inicie o *VMI*, conforme citado anteriormente. Os resultados obtidos para esse fornecedor na cadeia tipo II são expressivos tanto para o fornecedor quanto para o cliente. Para que o mesmo migre para cadeia do tipo III são necessários grandes esforços, tais como controle no processo do cliente para reduzir variabilidade de consumo, melhorar a previsão do plano de produção e estudo para diminuição da variabilidade do lead time, cujos resultados podem não se concretizar na prática e levar a parceria a obter resultados

não desejados. Por exemplo, esse produto na cadeia tipo II consegue reduzir os níveis de inventário em 31% e considerando os esforços citados, a redução passa a ser de 38%. No caso do fornecedor, o mesmo consegue reduzir seus estoques em mais de 17 vezes quando na cadeia do tipo II, o que já é considerado um resultado extraordinário.

O mesmo vale para o fornecedor B, em que sugere-se iniciar o mesmo na cadeia do tipo II. Como esse fornecedor é o que possui menor variabilidade no consumo e *lead time*, maiores deverão ser os esforços para estabilizar essas variáveis e alcançar os resultados simulados. Nesse tipo de indústria ainda é grande o desafio para controlar os processos de produção, o que pode certamente dificultar a obtenção de resultados melhores para a cadeia tipo III na prática.

No caso do fornecedor C, que possui o menor *lead time*, os resultados sem alterações já mostram que é possível investir para que o mesmo entre na cadeia do tipo III. Nesse caso, considerando ainda as melhorias que podem ser feitas, os resultados podem alcançar reduções nos níveis de inventário na casa de 51 % para o cliente e 68% para o fornecedor.

Adotando-se a configuração sugerida, os custos totais da cadeia de suprimentos são reduzidos em 50%, considerando os custos analisados anteriormente.

Após apresentação do modelo e os resultados obtidos, a seguir serão apresentadas as principais conclusões do trabalho e as sugestões de trabalhos futuros.

## 7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho analisou através do uso da simulação os benefícios da adoção do *VMI*, considerando três níveis de integração, definidos a partir de uma estrutura de avaliação de sistemas *VMI* baseada nos trabalhos de Sarpola (2007) e Holmström *et al.* (2003). Os principais aspectos discutidos foram:

- Medir o desempenho da cadeia de suprimentos por meio de três níveis de integração de acordo com a estrutura de avaliação de sistemas *VMI* proposta, avaliando os níveis de estoque, nível de serviço, Efeito Chicote, custos e rupturas.
- Comportamento dos estoques de segurança dos fornecedores com a utilização dos dados de pedidos do cliente (cadeia tipo I), consumo real (cadeia tipo II) ou erro da previsão (cadeia tipo III)..
- Estudar o efeito da maior frequência de reposição no sistema *VMI*.
- Verificar se fornecedores não adeptos ao *VMI* são de alguma forma beneficiados com o aumento da integração na cadeia.

### 7.1. ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO DE SISTEMAS *VMI*

O presente trabalho preenche uma lacuna das pesquisas de Waller *et al.* (1999), Disney *et al.* (2003) e Boone *et al.* (2000), na qual é assumido que a parceria pode ser facilmente implementada e que todos integrantes estão aptos a trocar informações em tempo real. Essa lacuna é preenchida com utilização da estrutura de avaliação de sistemas *VMI* proposta por Sarpola *et al.* (2007), que em conjunto com a simulação mostrou-se uma poderosa ferramenta para a tomada de decisão e planejamento futuro da integração na cadeia de suprimentos estudada. A utilização de uma estrutura de avaliação *VMI* permitiu identificar os principais elementos para implantações desse tipo de parceria e definir de forma clara os requisitos necessários para cada um dos três níveis de integração estudados.



O principal resultado da utilização da estrutura de avaliação em conjunto com a simulação foi a definição da configuração sugerida de operação da cadeia de suprimentos, na qual os fornecedores A e B passam a adotar a cadeia do tipo II e o fornecedor C migra para a cadeia do tipo III.

## **7.2. DESEMPENHO DO SISTEMA: NÍVEIS DE INVENTÁRIO, NÍVEL DE SERVIÇO E CUSTOS**

Os resultados obtidos permitem inferir as seguintes conclusões a respeito da adoção do *VMI* na cadeia estudada quanto aos níveis de estoques nos fornecedores e no cliente:

- Significativas reduções nos estoques do cliente e dos fornecedores quando se adotam as cadeias do tipo II e III, mostrando a importância do compartilhamento de informações para que os resultados obtidos na pesquisa possam ser alcançados na prática.
- No caso do cliente, as maiores reduções foram obtidas para o produto B, que possui a menor variabilidade de consumo e *lead time*. Em contrapartida, o produto de menor redução foi o produto A, devido ao alto *lead time*, sendo necessário manter um estoque de segurança maior, elevando então o nível médio de estoque. Conclui-se que os produtos com menor *lead time* são os que apresentam maior redução de estoque.
- Em termos de redução de inventário, os grandes beneficiados pela adoção do *VMI* foram os fornecedores, fato explicado pelo compartilhamento de informações de demanda real e plano de produção, permitindo reduzir as conseqüências do Efeito Chicote. As maiores reduções são para o produto A, justamente o produto que possui o maior Efeito Chicote quando opera na cadeia do tipo I. No caso dos fornecedores, quanto maior o *lead time*, maior é a redução dos níveis de inventário, indicando que variações nos pedidos e entregas de produtos com tempos de entrega curtos distorcem menos a demanda ao longo da cadeia.

Um fato importante adotado no modelo foi a utilização do *lead time* de entrega como uma distribuição normal, o que aproxima o modelo da realidade. A variabilidade do *lead time* explica algumas distorções observadas no modelo, pois atrasos nas entregas influenciam diretamente nos pedidos e conseqüentemente nos níveis de estoques.

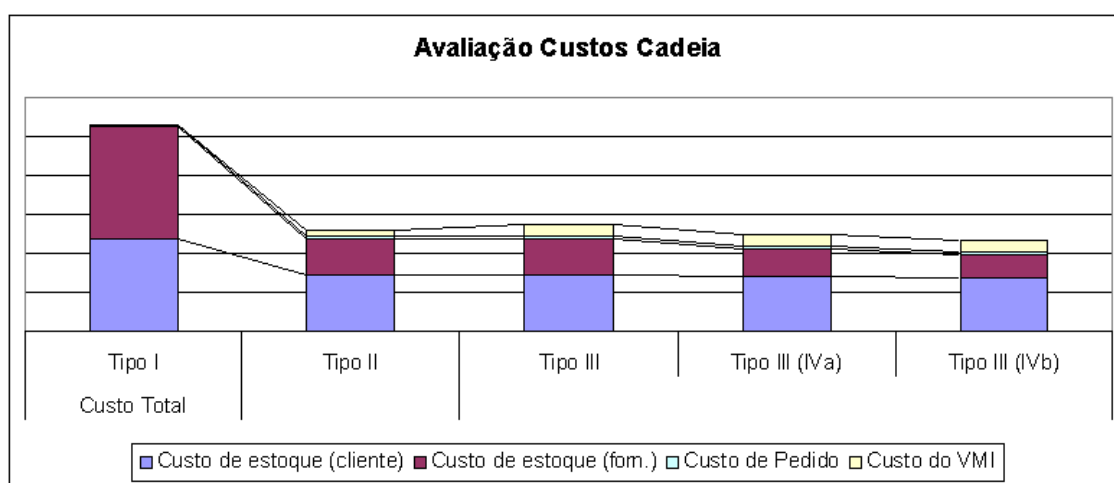
Esperava-se um desempenho melhor para a cadeia do tipo III, pois as entregas dos fornecedores para essa configuração são baseadas no plano de produção do cliente. Os resultados utilizando o plano real de produção do cliente e os consumos específicos reais dos produtos não foram satisfatórios, principalmente devido à baixa acuracidade do plano de produção (alto erro da previsão na cadeia tipo III) e alta variabilidade dos consumos dos produtos e do *lead time* (alto CV).

No caso dos produtos A e B, mesmo ao se utilizar um plano de produção mais assertivo e diminuindo a variabilidade dos consumos e *lead time*, os resultados para a cadeia do tipo III não foram significativamente melhores dos apresentados para a cadeia do tipo II. O único fornecedor o qual sugere-se investir na integração do tipo III é o responsável pelo produto C, cujos resultados mostraram ser possível obter ganhos significativos. Importante observar que o produto C é o de menor *lead time* e maior volume de entregas. Nesse caso, o fornecedor consegue se adaptar mais rapidamente às variações na demanda e ajustar o fluxo de materiais ao longo da cadeia.

Dessa forma, pode-se inferir que somente é vantajoso para os integrantes aderirem à cadeia do tipo III, nos casos de *lead time* baixo, alto volume de entregas, baixa variabilidade do consumo específico dos produtos e do *lead time*, recomendando-se ainda a utilização de outra técnica de previsão no lugar do plano de produção.

Mesmo com as reduções nos estoques, é importante ressaltar que os níveis de serviço ao cliente se mantiveram em 100% em todos os cenários simulados. Isso por que os fornecedores possuem capacidade de produção suficiente para atender a demanda do cliente. A capacidade de produção elevada dos fornecedores permite que os mesmos elevem seus estoques de forma a evitar rupturas em seu próprio estoque e atender completamente a demanda do cliente. A falta de dados e informações sobre as características da linha de produção dos fornecedores impossibilitou a análise de qual seria o tamanho de lote de produção diário ideal.

Em relação aos custos da cadeia, observa-se ser possível reduzir significativamente através da adoção do *VMI*. Essa redução se deve principalmente à diminuição nos níveis de inventário. A figura mostra o desempenho do custo total da cadeia considerando os diversos cenários analisados. Para a configuração da cadeia escolhida na secção '6.1.7. Configuração proposta para a cadeia estudada' consegue-se uma redução de 50% dos custos em relação à configuração de cadeia do tipo I.



**Figura 36 - Custos totais da cadeia de suprimentos**

Os resultados simulados permitem inferir que a adoção do *VMI* como parceria de gerenciamento de inventários colaborativa pode ajudar a melhorar o desempenho da cadeia de suprimentos estudada, tanto para os fornecedores quanto para o cliente. Esses resultados mostram a importância do compartilhamento de informações para que os resultados obtidos na pesquisa possam ser alcançados na prática.

### 7.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de simulação desenvolvido considerou dados reais e apesar dos pressupostos assumidos, permite que as conclusões obtidas sejam realísticas e

podem ser referência para outras empresas que possuam características de mercado similares.

O presente estudo contribui tanto no campo de pesquisa quanto na prática, utilizando conceitos não abordados anteriormente na literatura estudada. O uso da simulação para avaliação do sistema *VMI* aplicado à cadeia do ramo de minério de ferro possibilitou confirmar os benefícios esperados apontados na literatura em outros tipos de mercado, tais como supermercados e indústria automobilística. A flexibilidade do simulador permitiu que os fornecedores pudessem apresentar características bem diferentes, tais como período de revisão, *lead time* e consumo específico, de forma a tornar a análise mais completa, abrangente e próxima da realidade. Apesar das simplificações necessárias, o uso da simulação foi importante para que as características da cadeia estudada pudessem ser representadas.

Apesar de referenciar um modelo orientativo para implantação do *VMI*, não existe uma fórmula que implemente efetivamente esse tipo de iniciativa em empresas. Primeiramente, as empresas devem avaliar os riscos e possíveis benefícios advindos do *VMI*. Segundo, é de extrema importância redefinir as relações entre os parceiros, que devem avançar de aspectos puramente transacionais para parcerias mais interativas que visem ganhos para ambas as partes e que possam atender as reais necessidades do cliente final. Por fim, ao optar por iniciar parcerias como o *VMI*, deve-se considerar que a natureza de acordos de colaboração no gerenciamento de inventários muda ao longo do tempo, além de aspectos relacionados a avanços tecnológicos, cada vez mais freqüentes. Dessa forma, as empresas devem priorizar a reavaliação periódica das parcerias e propor novos e acordos colaborativos mais eficientes.

#### **7.4. TRABALHOS FUTUROS**

A seguir serão apontadas algumas lacunas deixadas pelo presente trabalho e que podem servir para extensão dos resultados aqui obtidos.

O primeiro ponto que pode contribuir para um avanço sobre os resultados apresentados seria a adoção de algoritmos de otimização que possibilitem parametrizar a simulação de forma mais eficiente e alcançar melhores resultados.

Além do uso da otimização, poderiam ser testadas outras políticas de controle de inventários para coordenar a cadeia de suprimentos. Outro aspecto importante seria testar outras técnicas de previsão além da suavização exponencial adotada no presente trabalho

Alguns fatores que mais impactaram nos resultados do modelo, tais como erro de previsão, variabilidade de consumo e variabilidade do *lead time*, podem ser estudados com maior nível de detalhamento.

Os produtos estudados possuem demanda independente. A utilização de produtos com demanda dependente permitirá avaliar se fornecedores não adeptos ao *VMI* podem ser beneficiados na medida em que mais parceiros aderem ao sistema.

A estrutura de avaliação de sistemas *VMI* em conjunto com o modelo orientativo de implantação podem ser utilizados para implantação do *VMI* na cadeia estudada, podendo ser objeto de um estudo de caso.

Em relação à estrutura de avaliação de sistemas *VMI*, pode ser conduzido um estudo empírico que possa testar a validade dos elementos do *VMI* da estrutura proposta bem como a validade da estrutura de Sarpola *et al.* (2007), além de poder comparar as duas proposições.

Ainda em relação à estrutura de avaliação pode ser analisada a inclusão de outros elementos, tais como aspectos financeiros e qualidade das previsões, que muito impactaram nos resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, S.C. *MRP, JIT, OPT, FMS?* Harvard Business Review, set./out. 1985. vol. 63, nº.5, p. 8-16.
- AICHLMAYR, M. "DC mart: who manages inventory in a value chain?", Transportation and Distribution, 2000. vol. 41 nº. 10, p. 4-60.
- ANGULO, A.; NACHTMANN, H.; WALLER, M.A. "Supply chain information sharing in a vendor managed inventory partnership", Journal of Business Logistics, 2004. vol. 25 nº. 1, p. 20-101.
- ANTUNES, J.; NETO, F.; FENSTERSEIFER, J. *Considerações críticas sobre a evolução das filosofias de administração de produção: do Just in Case ao Just-in-Time*. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, jul./set. 1989. vol. 29, nº. 3, p. 49-.
- BALCI O. et al. *Introduction to the Visual Simulation Enviroment (VSE)* Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, ed S. Andradóttir, K.J. Healy, D. H. Whithers, and B. L. Nelson.
- BALLOU, R.H. *Businnes Logistics Management: planning, organizing and controlling the supply chain*. 4 ed. Londres. Prentice Hall. 1998.
- BALLOU, R.H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. 4 ed. Porto Alegre: Bookmanl. 2001.
- BALLOU, R. H. *Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física*; tradução Hugo T. Y. Yoshizaki. – São Paulo: Atlas, 1993.
- BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B. *Discret-event System Simulation*. New Jersey: Prentice Hall. 1996.
- BARRATT, M.A. *Understanding the meaning of collaboration in the supply chain*. Supply Chain Management: An International Journal, 2004. vol. 9, nº 1, p. 30-42.
- BERGAL, M.; BJÖRKMAN, N. *Dimensioning of inventory levels in a VMI relationship at Atlas Copco Tools AB. Master Thesis*: Lulea University of Technology. Department of Business Administration and Social Science. Porsön. 2006
- BERNARDO C. G. *A tecnologia RFID e os benefícios da etiqueta inteligente para os negócios*, 2004. Disponível em: <[http://www.unibero.edu.br/download/revistaeletronica/Set04\\_Artigos/A%20Tecnologia%20RFID%20-%20BSI.pdf](http://www.unibero.edu.br/download/revistaeletronica/Set04_Artigos/A%20Tecnologia%20RFID%20-%20BSI.pdf)>. Acesso em: 27 ago. 2009.
- BIO, S. R.; ROBLES, L. T.; FARIA, A. C. *Em busca da vantagem competitiva: trade-Offs de custos logísticos em cadeias de suprimentos*. CRCSP, mar. 2002, Ano VI, nº 19.

BOONE, T.; GANESHAN R.; STENGER A.J. *The Impact of CPFR on Supply Chain Performance: A Simulation Study*. College of William and Mary Working Paper, 2000.

BOVET, David M.; THIAGARAJAN, Sridhar. *Logística orientada para o cliente*. HSM Management, jan./fev. 2000. nº. 18.

BOWERSOX, D.J.; CLOSS, D.J. *Logística empresarial, o processo de integração da cadeia de suprimentos*. São Paulo: Atlas, 2001.

BUFFA, E.S.; SARIN, R.K. *Modern production/operations management*. Nova Iorque: John Wiley & Sons, Inc., 1987. 834 p.

CACHON, G. P.; FISHER, M. *Campbell Soup's Continuous Replenishment Program: Evaluation and Enhanced Inventory Decision rules*. Production and Operations Management, 1997. vol. 6 nº. 3, p. 266-276.

CENSVILE, M. AND WHITE, A.S. "Observations on modeling strategies for vendor-managed inventory", Journal of Manufacturing Technology Management, 2006. vol. 17 nº. 4, p. 496-512.

CHEN, F. *94% Effective Policies for a Two-Stage Inventory System with Stochastic Demand*. Management Science, 1999. vol. 45, nº. 12, p. 1679-1696.

CHOPRA S., MEINDL P. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos*. São Paulo. Prentice Hall, 2003.  
CHRISTOPHER, MARTIM. *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para redução de custos e melhoria de serviços*. São Paulo: Pioneira, 1999.

CLAASSEN, M.F.T.; WEELE, A.F.; RAAIJ, E.M. "Performance outcomes and success factors of vendor managed inventory (VMI)", *Supply Chain Management: An International Journal*, 2008 p. 406-414.

CLARK, A.; SCARF, H. *Optimal Policies for a Multi-Echelon Inventory Problem*. Management Science, 1960. nº. 6, p. 475-490.

CORREA, H.L. et al. *Planejamento, programação e controle da produção - MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

CORRÊA, L. H., GIANESI, I. *Just-in-Time, MRP II e OPT : um enfoque estratégico*, São Paulo : Atlas, 1993.

COUGHLAN P. E COUGHLAN D. *Action research for operations management*. International Journal of Operations & Production Management, 2002. vol. 22, nº. 2, p. 220-240.

DAVIS-SRAMEK, B. and FUGATE, B. "State of logistics: a visionary perspective", Journal of Business Logistics, 2007. vol. 28, nº. 2, p. 1-34.

DEJONCKHEERE, J., *et al.* *The impact of information enrichment on the bullwhip effect in supply chains: A control engineering perspective.* European Journal of Operational Research, 2004. vol. 153, nº. 3, p. 727-750.

DIAS, G.P.P. *Gestão dos estoques numa cadeia de distribuição com sistema de reposição automática e ambiente colaborativo.* Dissertação de Mestrado: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

DISNEY, S.M. AND TOWILL, D.R. "A discrete transfer function model to determine the dynamic stability of a vendor managed inventory supply chain", *Int. J. Prod. Res.*, 2002a. vol. 40, nº. 1, p. 179-204.

DISNEY, S.M. AND TOWILL, D.R. "A procedure for the optimisation of the dynamic response of a vendor managed inventory system", *Computers & Industrial Engineering*, 2002b. vol. 43, p. 27-58.

DISNEY, S.M. AND TOWILL, D.R. "Vendor managed inventory and bullwhip reduction in a two level supply chain", *International Journal of Operations and Production Management*, 2003. vol. 23, p. 625-651.

DISNEY, S.M., POTTER, A.T. and GARDNER, B.M. "The impact of vendor managed inventory on transport operations", *Transportation Research: Part E*, 2003. vol. 39, nº. 5, p. 80-363.

DONEY, P.M.; CANNON, J.P. "An examination of the nature of trust in buyer-seller relationships", *Journal of Marketing*, 1997. vol. 61, p. 35-61.

DONG, Y.; XU, K. "A supply chain model of vendor managed inventory", *Transportation Research: Part E*, 2002. vol. 38, nº. 2, p. 75-95.

DONG, Y., XU, K.; DRESNER, M. "Environmental determinants of VMI adoption: an exploratory analysis", *Transportation Research: Part E*, 2007. vol. 43, nº. 4, p. 69-355.

DROR, M. TRUDEAU, P. *Inventory Routing: Operational Design.* Journal of Business Logistics; 1988. vol. 2, nº. 9, p. 165.

EHRHARDT, R.A.; SCHULTZ, C. R.; WAGNER, H.M. (s,S) *Policies for Wholesale Inventory System.* TIMS Studies in the Management Science. Stanford, 1981. nº. 16, p. 145-161.

FORRESTER, J. *Industrial DYNAMICS.* MIT Press, Cambridge, MA. 1961.

FREITAS F. P. *Introdução à modelagem e simulação de sistemas.* Visual Books: Florianópolis. 2001.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. *Administração da Produção e Operações.* Thomson Learning, São Paulo, 2002.

GANESAN, S. "Determinants of long-term orientation in buyer-seller relationships", *Journal of Marketing*, 1994. vol. 58, nº. 2, p. 1-19.



GANESHAN, R. *Managing supply chain inventories: A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model*. International Journal of Production Economics. Amsterdam, 1999. nº. 59, p. 341-354.

GANESHAN, R. *et al. "A Taxonomic Review of Supply Chain Management Research"*, In Quantitative Models for Supply Chain Management. Kluwer Academic. Norwell, MA, 1998. p. 839-879.

GAPSKI, L.O. *Controle de nível de estoque no setor varejista com base no gerenciamento de inventário pelo fornecedor*. Aplicação do modelo no A. Angeloni Cia LTDA e Procter & Gambler S.A. Dissertação de Mestrado: Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2003.

GAVIRNENI, S.; KAPUSCINSKI, R.; TAYUS, S. *Value of Information in Capacitated Supply Chains*. Management Science, 1999. vol. 45, nº. 1, p. 16-22.

GAZOLLA, E. C. *Esforço de coordenação entre fabricantes de produtos alimentícios, atacadistas e o grande varejo no Brasil*. Dissertação de Mestrado: Departamento de Engenharia de Produção da Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2002.

HAX, ARNOLD E DAN CANDEA. *Production and Inventory Management*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1984.

HERRON, D. P. *Integrated Inventory Management*. Journal of Business Logistics, 1987. vol. 1, nº. 8, p. 96.

HINES, P, LAMMING, R, JONES, D., COUSINS, P, RICH, N. *Value Stream Management: Strategy and Excellence in the Supply Chain*, Financial Times, Prentice Hall. 2000.

HOLMSTROM, J., SMÅROS, J., DISNEY, S. M., & TOWILL, D. R.. *'Collaborative supply chain configurations: The implications for supplier performance in production and inventory control'*, 8th International Symposium of Logistics, Seville, Espanha, 6-8 de Julho, 2003. p. 455-464.

HOLMSTRÖM, J.; FRAMLING, K.; KAIPAI, R.; SARANEN J. *"Collaborative planning forecasting and replenishment: new solutions needed for mass collaboration"*, Supply Chain Management: An International Journal, 2002. vol. 7, nº. 3, p. 136-45.

HOLMSTRÖM, J. TANSKANEN, K.; ELFVING, J.; TALVITIE, U. *Vendor-managed-inventory (VMI) in construction*. International Journal of Productivity and Performance Management, 2009. vol. 58, nº.1, p. 29-40.

HOLWEG M, DISNEY S, HOLMSTROM J, SMAROS J.. *"Supply chain collaboration: making sense of the strategy continuum"*, European Management Journal, 2005. vol. 23, nº. 2, p. 81-170.

KAIPAI, R.; HOLMSTROM, J.; TANSKANEN, K. *VMI: What are you losing if you let your customer place orders?* Production Planning and Control, 2002. vol. 13, nº.1.

KHOUJA, M. *"Optimizing inventory decisions in a multi-stage multi-customer supply chain"*, Transportation Research Part E, 2003. vol. 39, p. 193-208.

KINGENBERG, C. O. *Construção de um modelo orientativo para implementação do VMI em empresas da indústria supermercadista brasileira*. Disponível em <<http://www.ecrbrasil.com.br>> Acesso em 23/07/2009.

KRUPP, J.A.G. *Why MRP systems fail: traps to avoid*. Production & Inventory Management, 1984. vol. 25, nº. 3, p. 48-53.

LEE, H. L.; SO, K. C.; TANG, C.S. *The Value of Information Sharing in a Two-level Supply Chain*. Management Science, 2000. vol. 46, nº. 5, p. 626-643.

LEE, H.L.; PADMANABHAN, V.; WHANG, S. *The bullwhip effect in supply chains*. Sloan Management Review. Spring, 1997. p. 93-102.

LU H. & SU Y., *An Approach Towards Overall Supply Chain Efficiency - A Future Oriented Solution And Analysis In Inbound Process*. Masters Thesis. School of Economics and Commercial Law. Göteborg University, 2002. nº. 29.

MARTINS, R. A. *Flexibilidade e Integração no novo paradigma produtivo mundial: estudos de casos*. Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos, 1993. 137 p.

MCBEATH, B. *The trough about VMI: Revelations and recommendations from the 2003 ESCA-ChainLink Research Study on VMI in the High Tech Supply Chain*, ESCA and Chainlink Research.

MENNER, W. *Introduction to modeling and Simulation*. Johns Hopkins APL Technical Digest, 1995. vol. 16, nº. 1, p. 6-17.

MOURA, A. N. C., *Novas tecnologias e sistemas de administração da produção - Análise do grau de integração e informatização nas empresas catarinenses*. Dissertação de Mestrado, UFSC, Santa Catarina, 1996.

NARAYANAN, V. G.; RAMAN, A. *Assignment of Stocking Decision Rights Under Incomplete Contracting*, working paper, Harvard Business School, Cambridge, MA. 1997.

ONO, R. T. *Modelagem sistêmica e planejamento logístico da cadeia de suprimentos de petróleo*. 2006. 142 p. Tese (Doutorado) - ESC POLITÉCNICA, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PARKS, L. *CPFR key to better sales, lower inventories*. Drug Store News, February 21 Issue, 69. 2000.

PEDGEN, C. D.; SHANNON, R.E.; SADOWSKI, R.P. *Introduction to simulation using SIMAN*. McGraw-Hill. 2 ed. New York. 1995.

PEIXOTO, E. C.; Pinto, L. R. *Gerenciamento de estoques via previsão de vendas agregadas utilizando simulação*. Produção, set./dez. 2006. vol. 16, nº. 3, p. 569-581.

PERRY, M. E.; SOHAL, A. M. *Quick response practices and technologies in developing supply chains – a case study*. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 2000. vol. 30, nº. 7, p. 627-39.

PIMENTA, M. LIMA. *Os custos de armazenagem na logística moderna*. Anais eletrônicos. 2000, Disponível em: < <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-public.htm> > Acesso em 04 de jul. de 2009.

PIRES, S. R. I. *Gestão da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain Management)*. Ed. Atlas, 2004.

POHLEN E GOLDSBY. *VMI and SMI programs: How economic value added can help sell the change*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. 2003. vol. 33, nº. 7, p. 565-581.

PRATES G. A.; GALLÃO D. *Levantamento do panorama situacional do EDI no Brasil e perfil dos mercados*. QUALIT@S Revista Eletrônica.ISSN 1677-4280, Ano 2007. vol 6.nº. 2.

ONO, R. T.; BOTTER, R. C. *Análisis de la cadena de suministros del petróleo a través de una herramienta de apoyo a la decisión usando un modelo de simulación probabilística*. Congreso de Ingeniería Naval, Transporte Marítimo e Ingeniería Portuaria. La Habana, Cuba : IPIN, 2003.

RAGHUNATHAN, S.; YEH, A. *Beyond EDI: Impact of Continuous Replenishment Program (CRP) Between A Manufacturer and Its Retailers*. Information Systems Research, 2001. vol. 12, nº. 4, p. 406-419.

EDDY, M.; VRAT, P. *Vendor Managed Inventory Model: a Case study*. Journal of advances in Management Research, 2007. vol. 4, nº. 1, p. 83-88.

REMENY, D. *et al. "Doing Research in Business And Management, an Introduction to Process and Method"*. London, SAGE Publications, 1999.

RUSSOMANO, V.H. *PCP: planejamento e controle da produção*. São Paulo: Pioneira, 1995. 320 p.

SARI, K. *"Exploring the benefits of vendor managed inventory"*, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2007. vol. 37 nº. 7.

SARI, K. *Exploring the benefits of vendor managed inventory*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2007. vol. 37, nº. 7, p. 529-545.

SARPOLA, S.; ELVANDER, M.S.; MATTSSON, S.A. *"Framework for Characterizing the Design of VMI Systems"*. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 2007. vol. 37, nº. 10, p. 782-798.

SCHWARZ, L.B. *A Simple Continuous Review Deterministic One-WarehouseN-Retailer Inventory Problem*. Management Science, 1973. nº. 19, p. 555-566.

SILVA, L. C. *Stochastic simulation of the dynamic behavior of grains storage facility*. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: MG.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. *Cadeia de Suprimentos: Projeto e Gestão*. Conceitos, estratégias e estudos de casos. Porto Alegre: Bookman, 2003.

TRENTI, R.L., *Proposta para integrar uma cadeia de suprimentos de uma montadora de produtos para conforto térmico e seus varejistas especializados*. Dissertação de Mestrado, UFRS, Porto Alegre, 2004.

TUBINO, Dalvio Ferrari. *Sistemas de Produção*. São Paulo: Bookman, 2000.

VIEIRA, J.; YOSHIZAKI, H.; HO, L. *Collaboration intensity in the Brazilian supermarket retail chain*. Supply Chain Management: An International Journal, 2009. p. 11-21.

WALLER, M., JOHNSON, M.E. AND DAVIS, T. (1999), "Vendor managed inventory in the retail supply chain", Journal of Business Logistics, vol. 20 n.º. 1, p. 183-203.

WANKE, P. *Efficient Consumer Response (ECR): A logística de suprimentos just-in-time aplicada ao varejo*. Disponível em: <<http://coppead.ujrf.br/pesquisa/celnew/fr-ecr.htm>>.

WHIPPLE, J.; FRANKEL, R.; ANSEMI, K. *The effect of governance structures on performance: a case study on efficient consumer response*. Journal of Business Logistics, 1999. vol. 20, n.º. 2, p. 43-62.

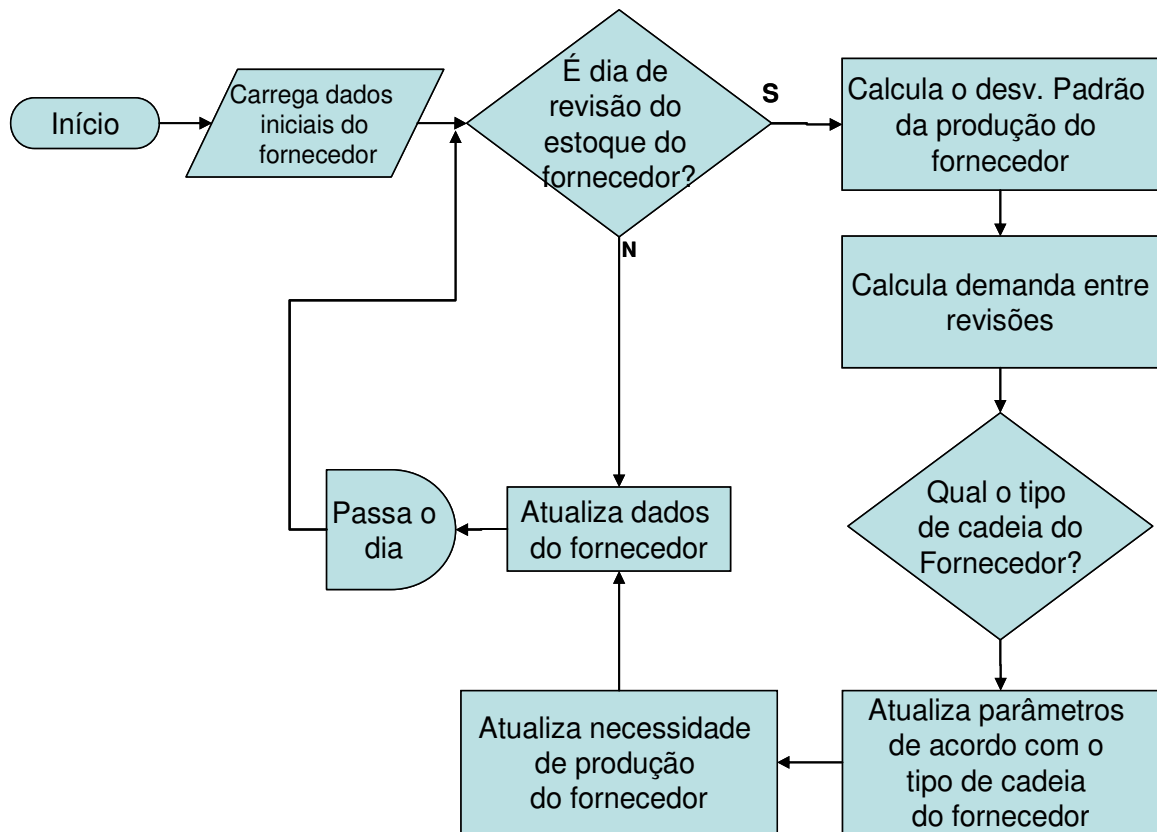
WHIPPLE, J.M.; FRANKEL, R.; DAUGHERTY, P.J. "Information support for alliances: performance implications", Journal of Business Logistics, 2002. vol. 23, n.º. 2, p. 67-82.

WHITE, A. *The Value Equation: Value chain Management, Collaboration, and the Internet*. Logility Inc., 1999.

WILLIAMS, B.D.; TOKAR, T. "A review of inventory management research in major logistics journals". International Journal of Logistics Management, 2008. vol. 19, n.º. 2, p. 212-232.

YAO, Y.; DRESNER, M. "The inventory value of information sharing, continuous replenishment, and vendor-managed inventory", Transportation Research: Part E, 2008. vol. 44, n.º. 3, p. 78-361.

ZINN, W. MARMORSTEIN, H. *Comparing Two Alternative Methods of Determining Safety Stock Levels: The Demand and the forecast system*. Journal of Business Logistics, 1990. vol.1, n.º. 11, p. 95.

**ANEXO A - Fluxos do modelo****Fluxo de produção dos fornecedores****Figura 37 - Fluxo de produção dos fornecedores**

### Fluxo do Processamento do pedido do cliente no fornecedor

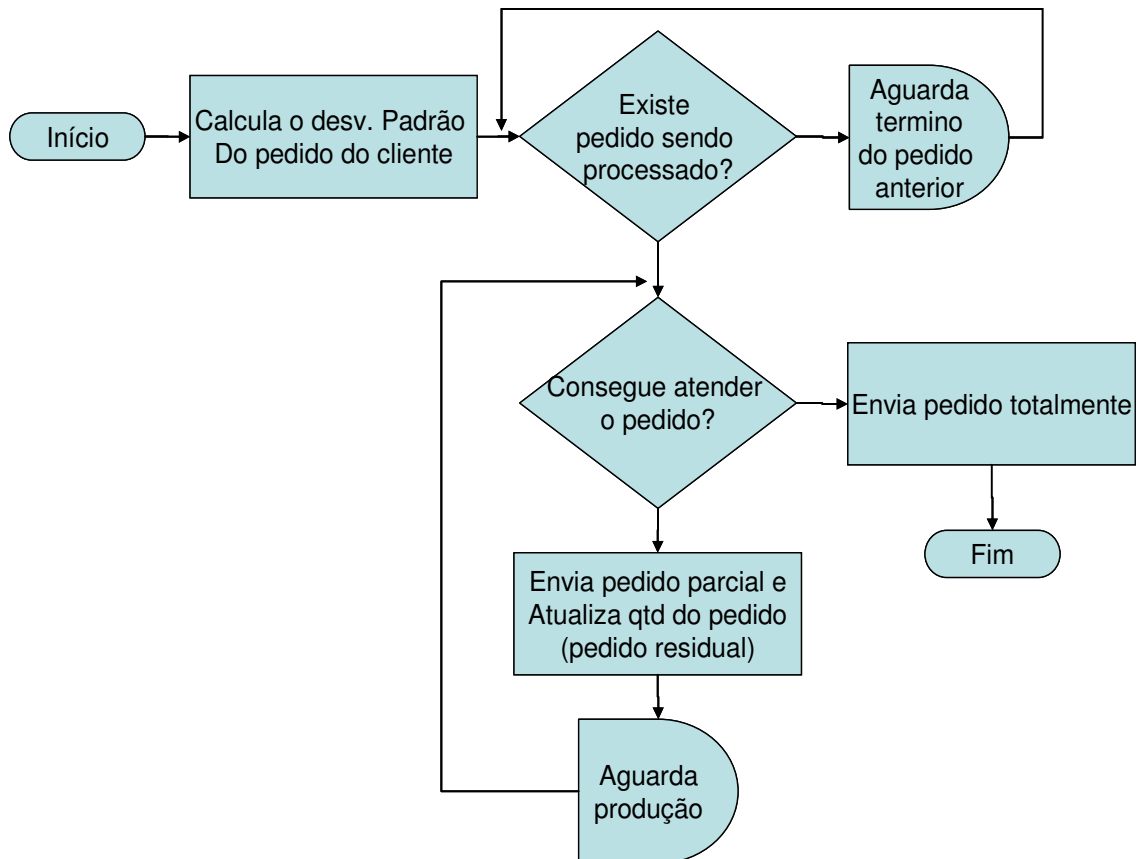


Figura 38 - Fluxo do Processamento do pedido do cliente no fornecedor

## Fluxo do processo do cliente

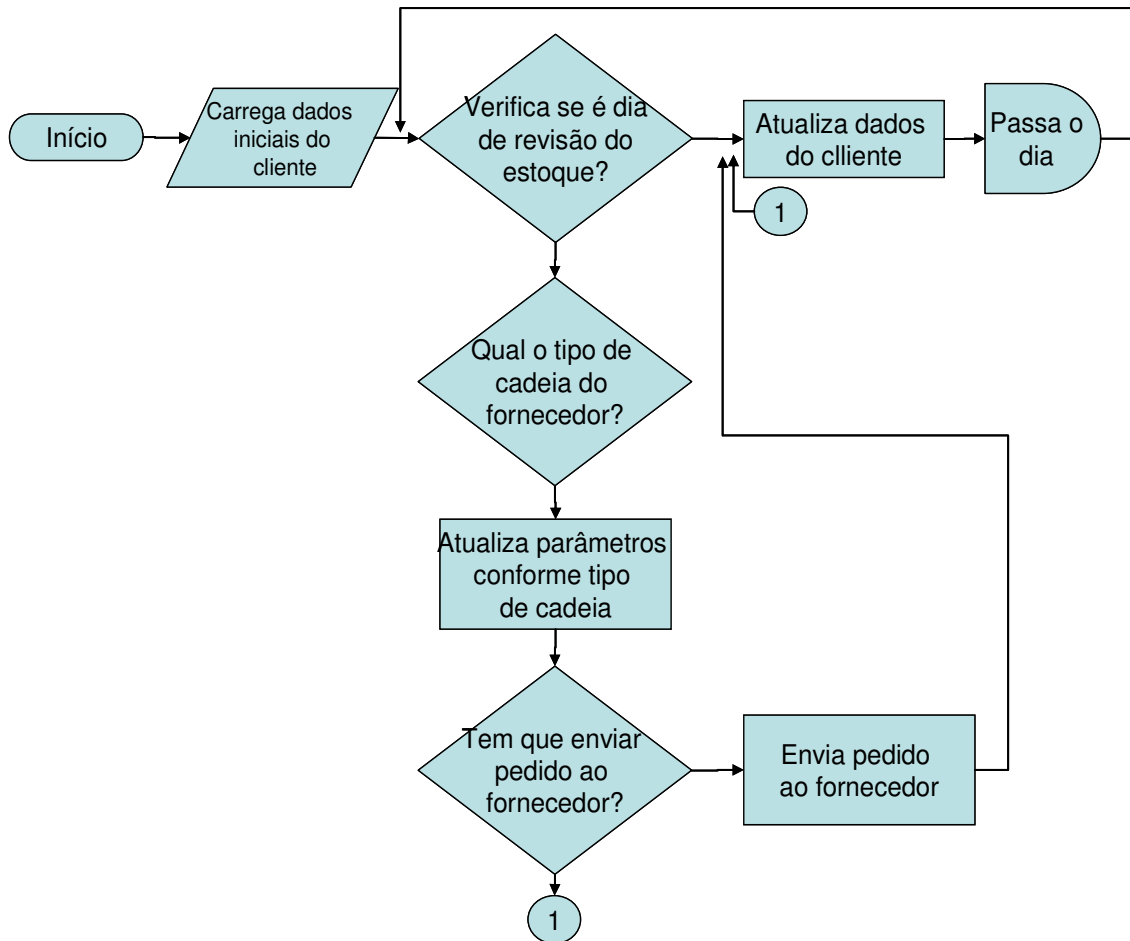


Figura 39 - Fluxo do processo do cliente

## **ANEXO B - Descrição do modelo no software ARENA**

O capítulo 5 abordou a modelagem do problema estudado, tratando de aspectos operacionais, características, pressupostos e aplicação do mesmo. A seguir será descrita a implementação lógica do modelo no software ARENA.

O modelo será apresentado em 4 subprocessos, sendo eles: Cliente, Fornecedor A/B/C, Chegada de Pedidos e Lógicas Auxiliares. Essa divisão pretende facilitar o entendimento do leitor e sempre que possível será feita a relação com o descrito no capítulo 5.

### **1) Cliente**

Esse subprocesso é responsável por controlar as variáveis e eventos do cliente. Inicialmente cria-se uma entidade que vai atualizar os valores de todas as variáveis diariamente. O primeiro bloco delay 'Atraso inicio Cliente' (1) serve para atrasar o início do processo do cliente em relação aos fornecedores. Tal atraso é necessário para garantir que os dados dos fornecedores sejam carregados antes do cliente, pois a operação do cliente depende do tipo de cadeia do fornecedor.

Foram criados 3 submodels (2) para carregar as variáveis que são influenciadas pelo tipo de cadeia de cada fornecedor. O quarto submodel, chamado 'Dados iniciais Cliente' (3) carrega as variáveis comuns a qualquer tipo de cadeia, tais como: parâmetros e níveis de estoques iniciais, demanda diária e taxa. Após atualização dos parâmetros, a entidade inicialmente criada é separada em três através de dois blocos separate (4), para controle dos estoques do cliente para cada produto. A seqüência lógica é a mesma para cada produto, alterando apenas as características individuais de cada um, tais como taxa de consumo e período de revisão. Assim, será feita a descrição da lógica do produto A e que serve para os demais.

Inicialmente existe o bloco decide 'Verifica se é dia de revisão do estoque do cliente' (5) responsável por averiguar se o dia atual é dia de revisão. Essa averiguação é necessária para atender a política de controle de estoques por



Revisão Periódica, adotada pelo cliente. Nas situações nas quais o estoque passa a ser administrado de forma contínua pelo fornecedor, ou seja, nas cadeias tipo II e III, o parâmetro intervalo entre revisões R para a ter valor unitário, ou seja, diariamente os estoques do cliente serão monitorados. Caso seja dia de revisão, calcula-se o desvio padrão do consumo do produto e a previsão da demanda (utilizada apenas nas cadeias tipo I e II) no subloco 'Desv Padrão Cons. Forn' (6). O subloco 'Cons. Durante período Forn' (7) calcula a média móvel do consumo nos últimos três períodos de revisão. A média móvel é utilizada no cálculo do parâmetro Estoque Alvo ou Estoque Máximo do Cliente nas cadeias tipo I e tipo II.

Para o prosseguimento do processo é necessário verificar qual o tipo de cadeia para aquele fornecedor. Para as cadeias do tipo I e II, as necessidades de pedido são calculadas de acordo com as políticas de estoque definidas nas secções 5.3.1 e 5.3.2. Na cadeia tipo III as reposições são feitas de acordo com o plano de produção do cliente, conforme descrito no tópico 5.3.3.

O subloco Envio Pedido Forn X é responsável por informar ao fornecedor as quantidades de reposição necessárias. Inicialmente este subloco verifica a necessidade de solicitar a reposição ao fornecedor, caso a cadeia seja do tipo I. Caso necessário fazer o pedido, o cliente então informa ao fornecedor a quantidade de reposição. No caso das cadeias tipo II e III o próprio o fornecedor verificar as necessidades do cliente e programa as quantidades a serem entregues de acordo com as regras definidas nas secções 5.3.2 e 5.3.3.

Por fim a entidade se agrupa novamente no bloco Batch1 e os dados do cliente são atualizados no subloco 'Atualiza dados Cliente'. Os dados atualizados são: consumo no dia, verificação de rupturas e níveis de estoques.

## CLIENTE

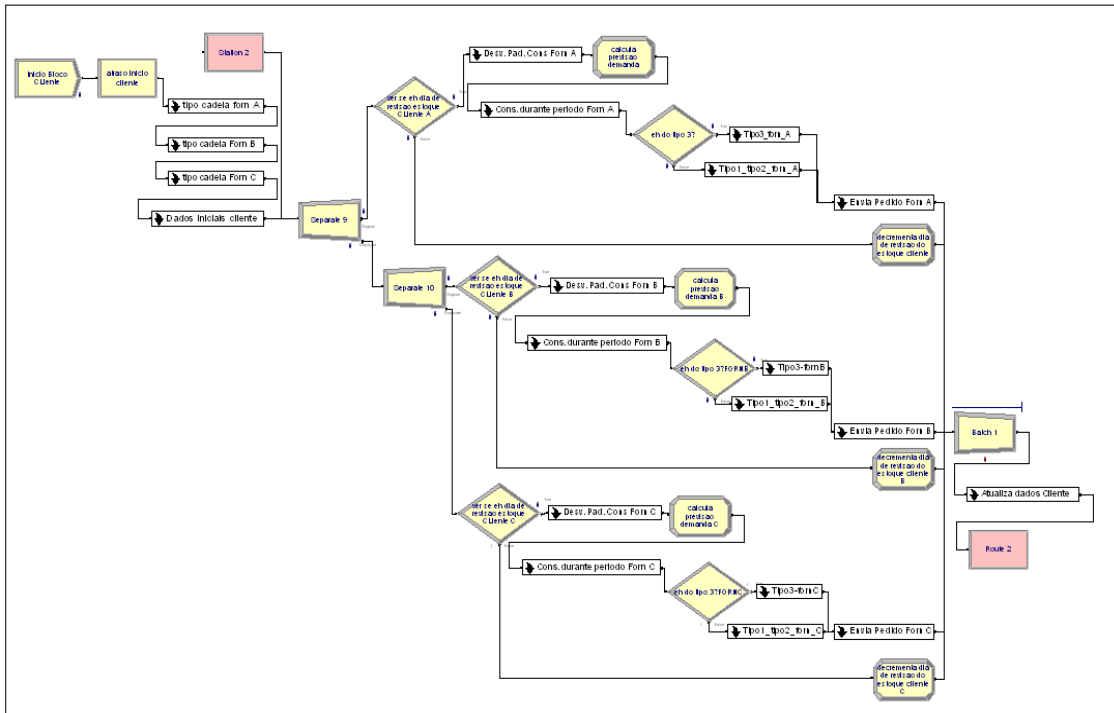


Figura 40 - Modelo do Cliente no ARENA

## 2) Fornecedor

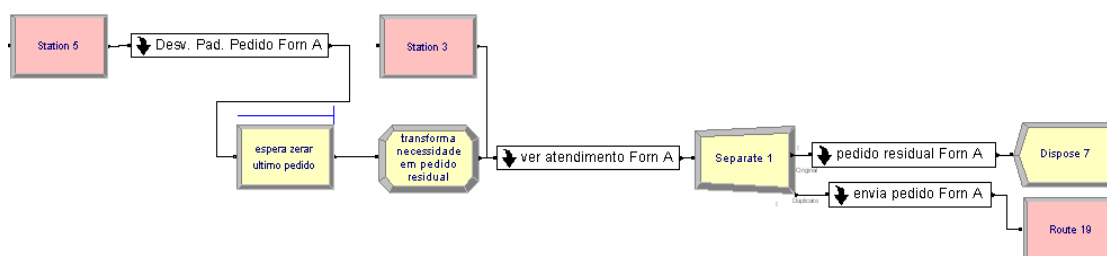
A lógica dos fornecedores pode ser dividida em dois processos: o primeiro trata a chegada das necessidades de reposição e o segundo controla o processo de produção do fornecedor. Tais processos são descritos a seguir.

### Processo para Tratar as necessidades de reposição

Inicialmente trata-se a chegada dos pedidos de reposição. Para a cadeia tipo I, após a chegada de um pedido de reposição, calcula-se o desvio padrão do histórico dos pedidos, que é utilizado no cálculo do estoque de segurança do fornecedor para esse tipo de cadeia. Vale ressaltar que as necessidades de reposição, independente do tipo de cadeia, são enviadas pelo modelo do cliente, o que foi feito por conveniência de lógica.

Caso o fornecedor ainda esteja processando uma necessidade anterior, o novo pedido aguarda na fila até que a necessidade anterior seja zerada (pedido

residual). A chegada da necessidade de reposição é convertida em um pedido residual, utilizado para controlar o atendimento àquela demanda. O submodelo 'ver atendimento Forn X' verifica se o fornecedor possui quantidade suficiente em estoque para atender todo o pedido. Caso positivo, calcula a quantidade necessária de caminhões com carga completa necessários para atender a demanda. Caso contrário, envia o que possui em estoque e identifica a ruptura. O bloco separate é necessário pois além de enviar os caminhões para o cliente (submodelo 'envia pedido Forn X') deve-se verificar se ainda existe uma quantidade a ser atendida, o que acontece nos casos de ruptura.



**Figura 41 - Modelo das necessidades de reposição do fornecedor no ARENA**

### Processo para tratar a produção do fornecedor

Inicialmente são carregados os dados iniciais do fornecedor, tais como parâmetros de estoque, *lead time* de entrega e tipo de cadeia. O bloco decide verifica se é dia de revisão do estoque do fornecedor, que utiliza a política de controle de estoques por revisão periódica para todos os tipos de cadeias. Caso positivo, calcula o desvio padrão da demanda de produção do fornecedor e a demanda média de produção entre os períodos de revisão. Em seguida, verifica o tipo da cadeia do fornecedor para determinar os parâmetros de estoque conforme secções 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3 e verifica se é necessário produzir no submodelo 'produção Forn X'. Caso contrário, decrementa o dia de revisão do estoque do fornecedor. Por fim, são atualizadas as variáveis de estoque e necessidade de produção do fornecedor. A necessidade de produção somente existe quando há um

pedido de entrega residual ou em dias de revisão do estoque, quando é feita a reposição até o estoque máximo.

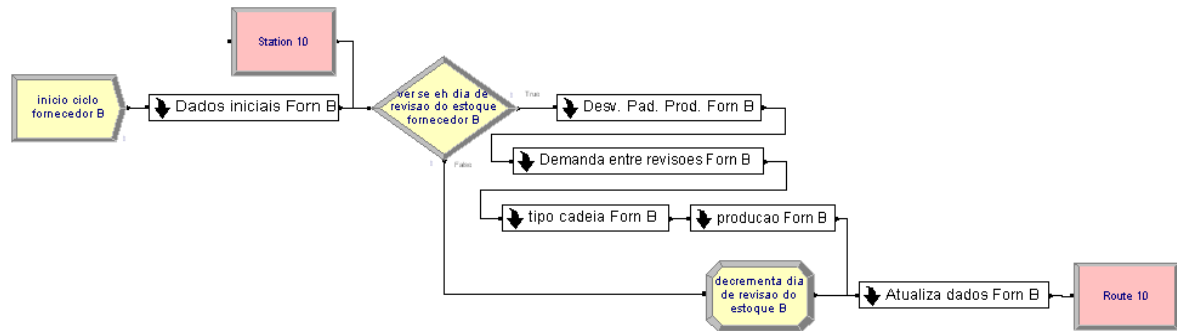


Figura 42 - Modelo do processo de produção do fornecedor no ARENA

### 3) Chegada de Pedidos



Figura 43 - Modelo da chegada de pedidos ao fornecedor no ARENA

Este processo representa a chegada de caminhões ao cliente onde são atualizados o estoque do cliente, o estoque em trânsito e o número de caminhões em trânsito. A chegada dos caminhões é representada pelas entidades enviadas pelo submodel 'envia Pedido Forn X', representada na figura 28.

#### **4) Lógicas Auxiliares**

Foram criados três processos chamados de lógicas auxiliares, necessários basicamente para leitura de dados auxiliares, animação e gravação dos dados de saída.

##### **Ler Previsão**

No início do modelo, são carregados do Excel as previsões de consumo de cada produto de acordo com o plano de produção do cliente. Esses dados somente são utilizados na cadeia do tipo III.

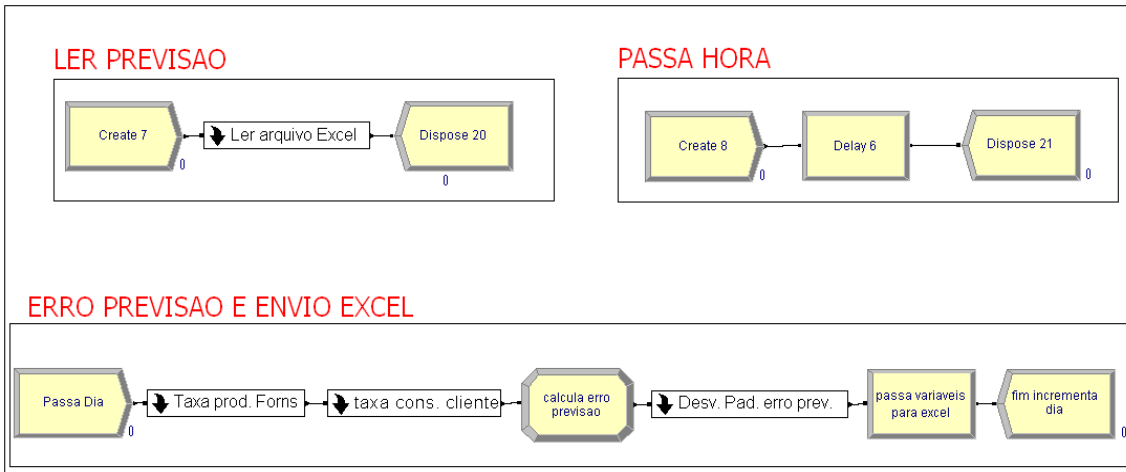
##### **Passa Hora**

Utilizado para permitir maior detalhamento na animação, uma vez que os eventos do modelo acontecem uma vez por dia.

##### **Erro Previsão e Envio Excel**

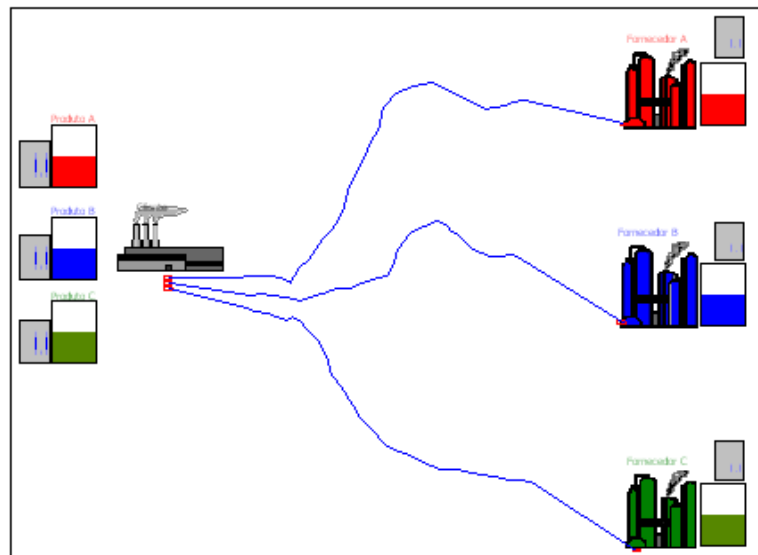
Diariamente atualiza o consumo e taxa de produção de cada produto. Em seguida, calcula o erro e o desvio padrão da previsão (no caso da cadeia tipo III). Por fim, envia as variáveis selecionadas para um arquivo de saída em Excel para análise dos resultados.

## LOGICAS AUXILIARES



**Figura 44 - Lógicas Auxiliares do modelo no ARENA**

As figuras 47 e 48, representam o modelo da animação gráfica e o modelo completo, respectivamente.



**Figura 45 - Modelo de Animação desenvolvido no ARENA**

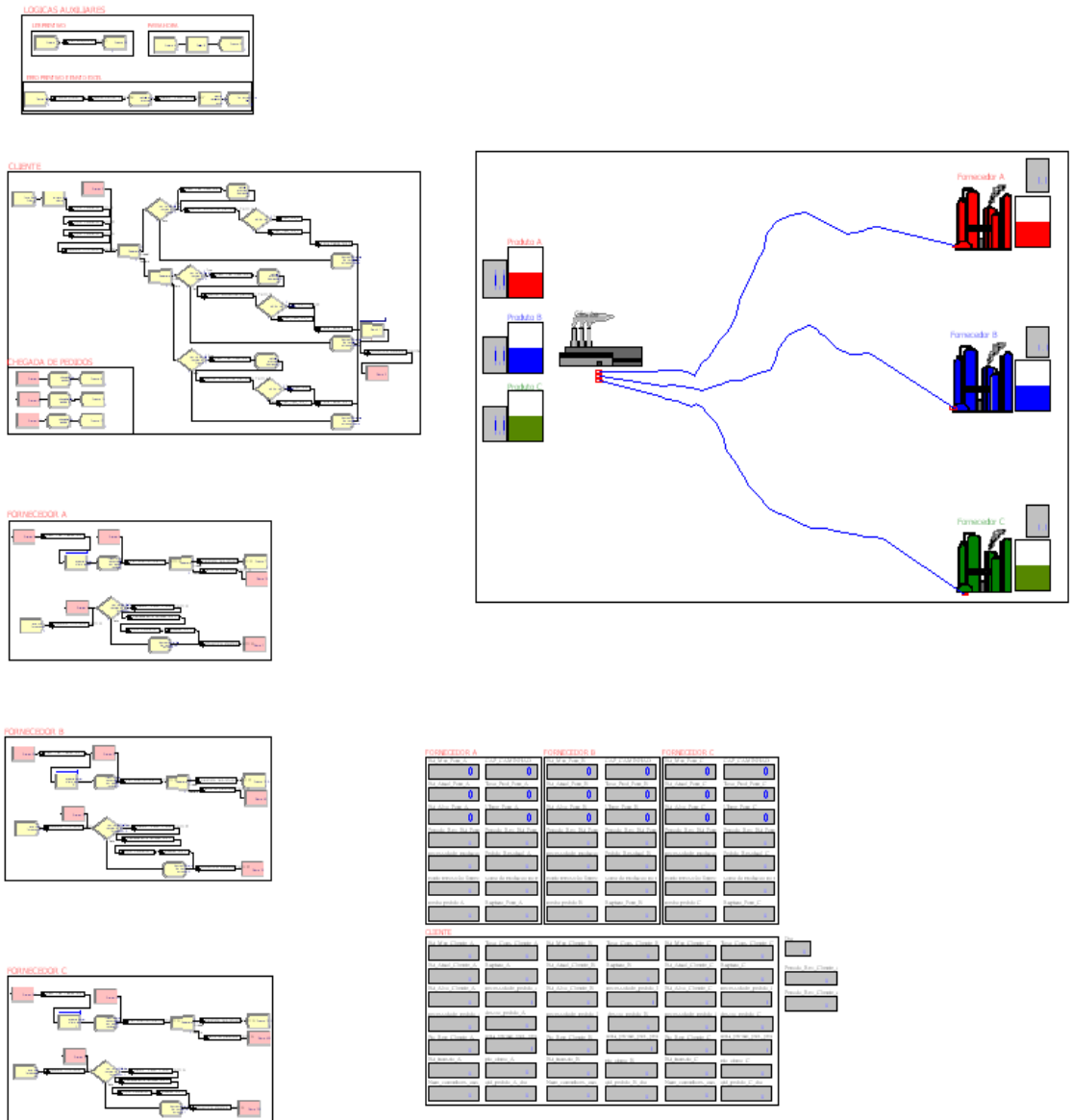
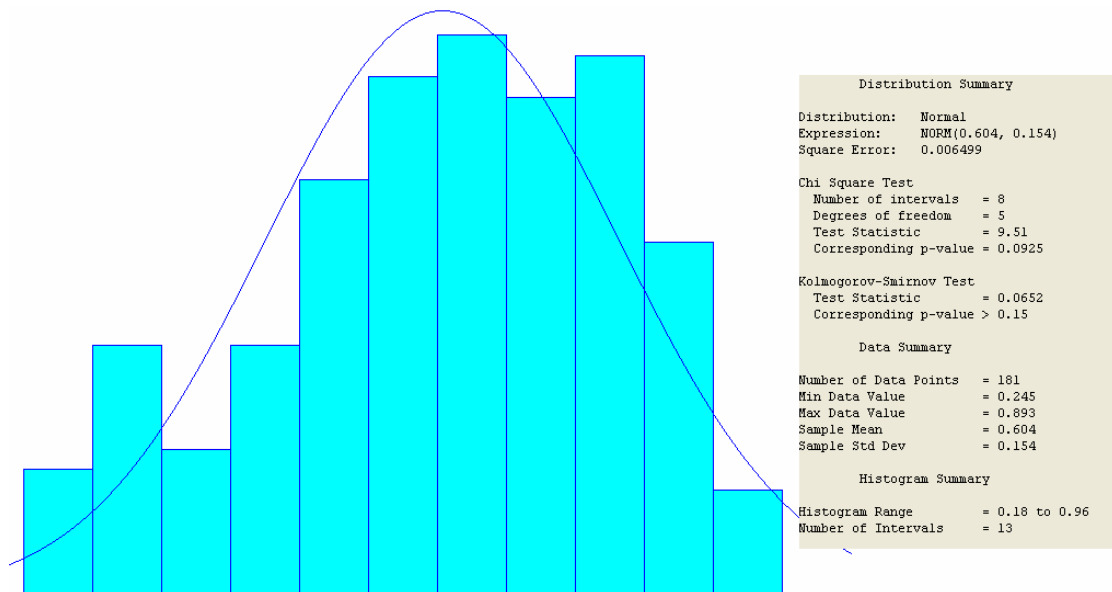
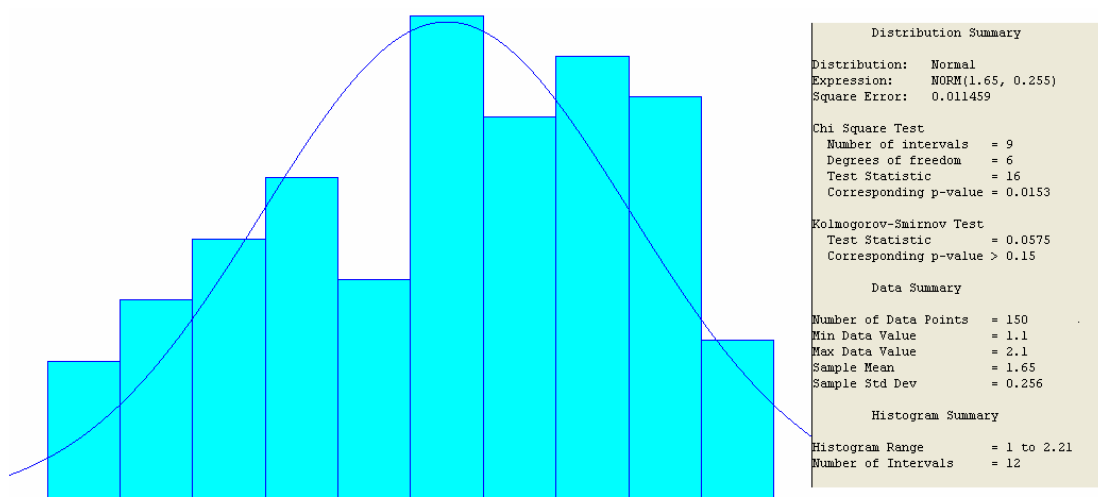


Figura 46 - Modelo completo desenvolvido no ARENA

## ANEXO C - Distribuições de Probabilidade



**Figura 47 - Distribuição de probabilidade do consumo específico do produto A**



**Figura 48 - Distribuição de probabilidade do consumo específico do produto B**



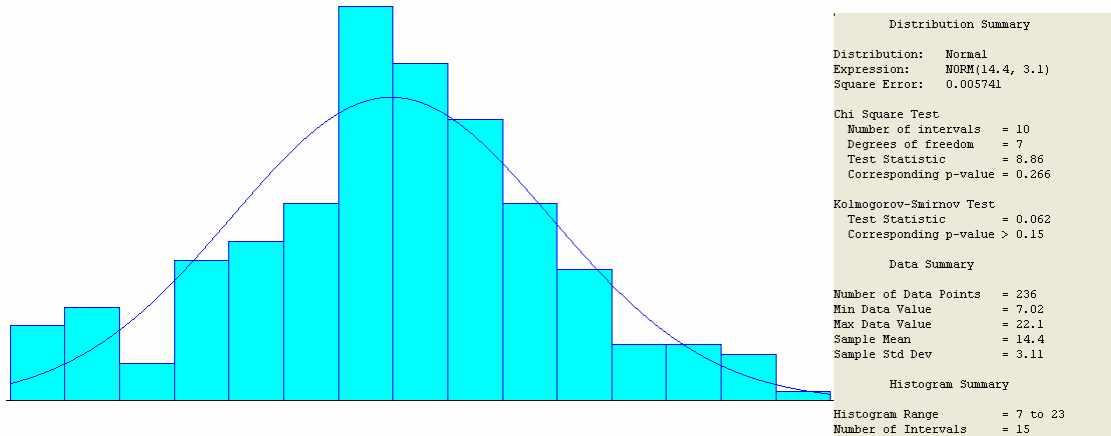


Figura 49 - Distribuição de probabilidade do consumo específico do produto C

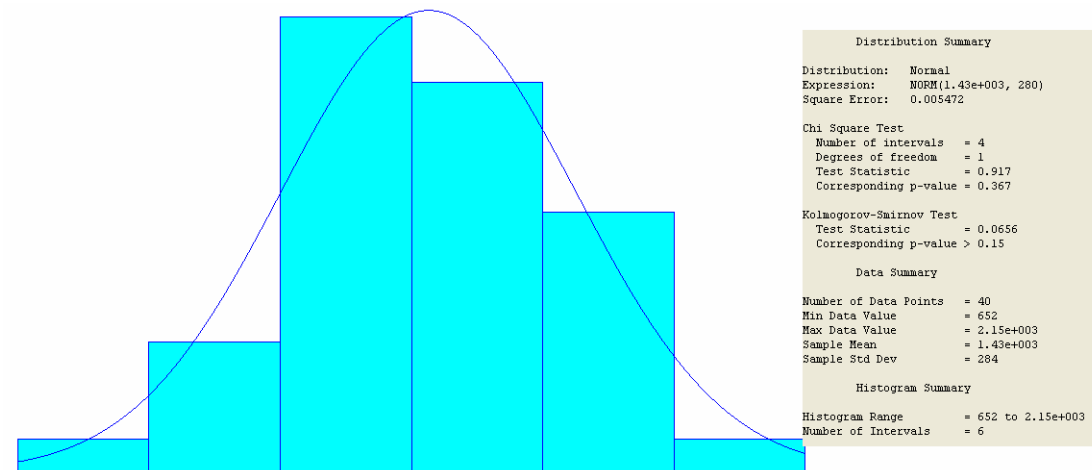


Figura 50 - Distribuição de probabilidade do *lead time* do produto A

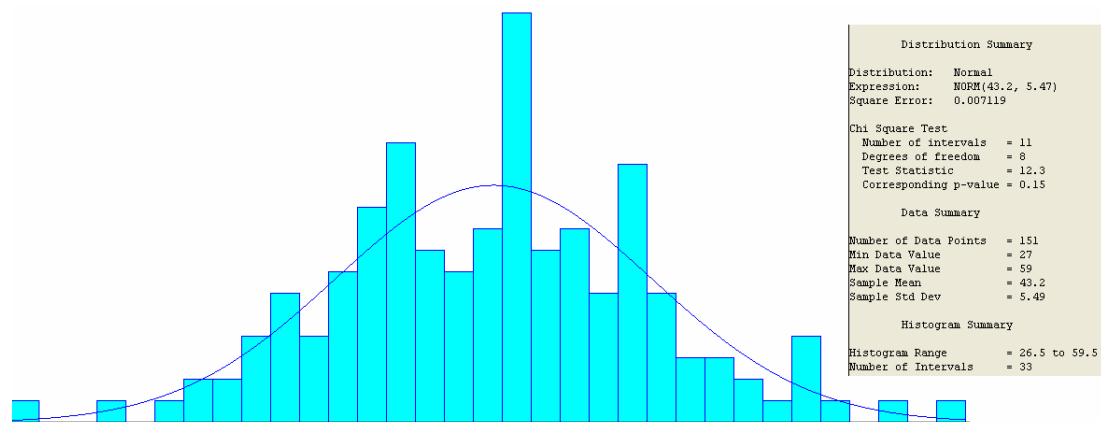


Figura 51 - Distribuição de probabilidade do *lead time* do produto B

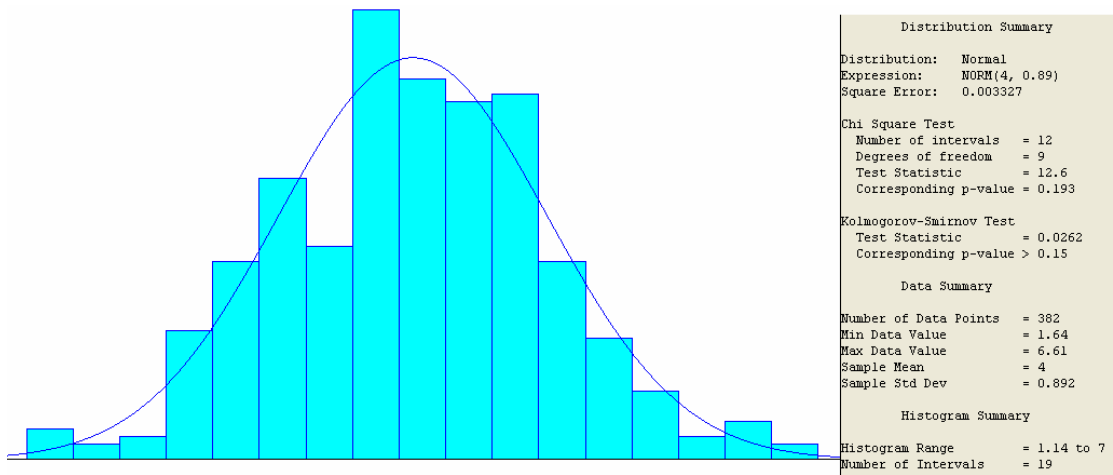


Figura 52 - Distribuição de probabilidade do *lead time* do produto C

## ANEXO D - Testes de Normalidade

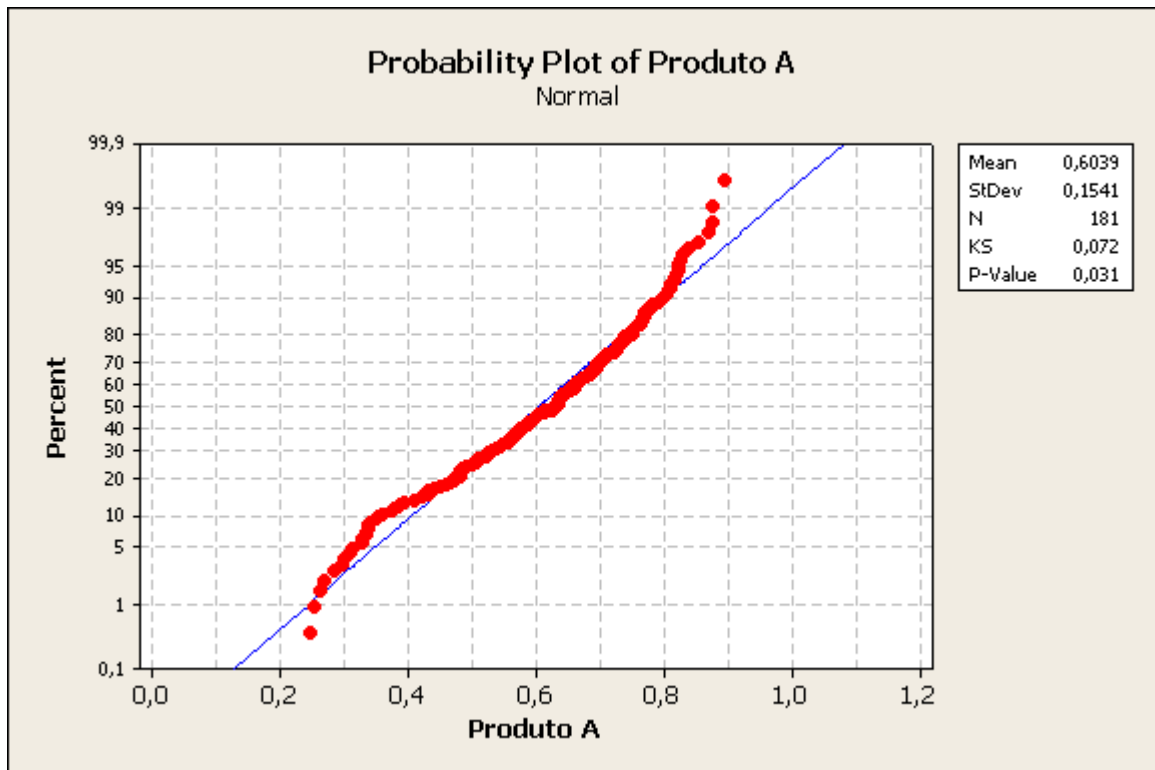


Figura 53 – Teste de normalidade do consumo específico do produto A

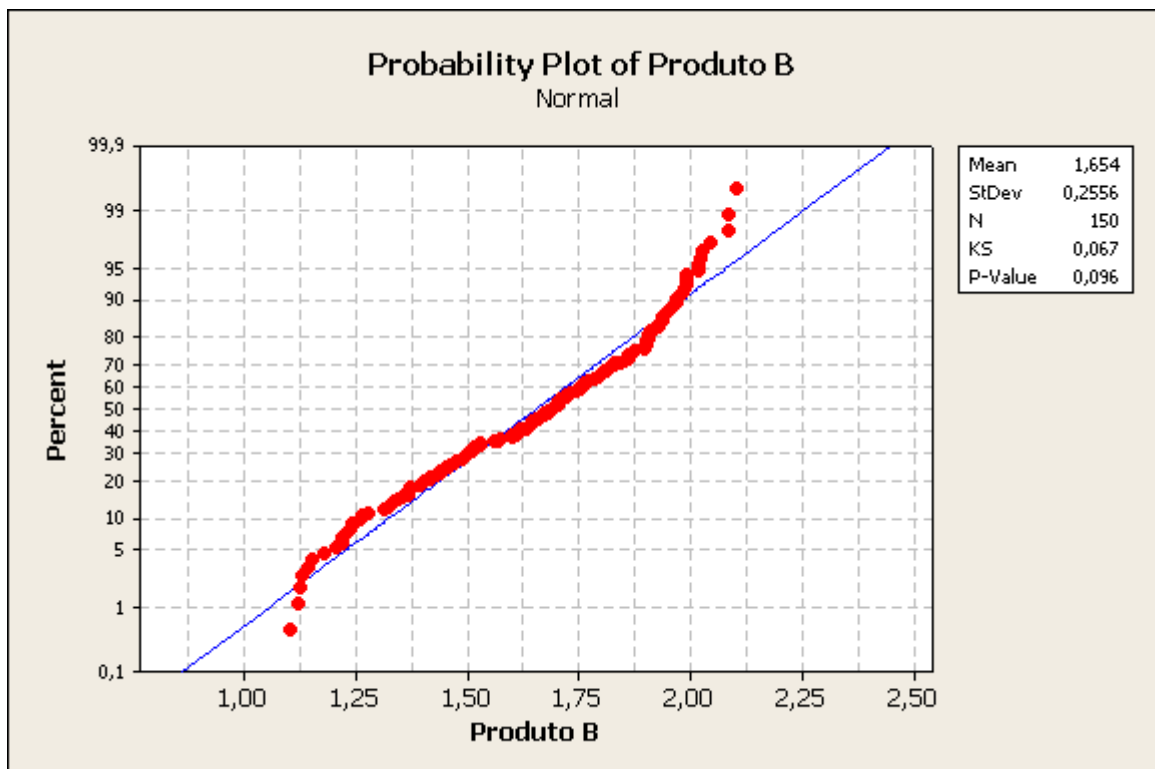


Figura 54 - Teste de normalidade do consumo específico do produto B

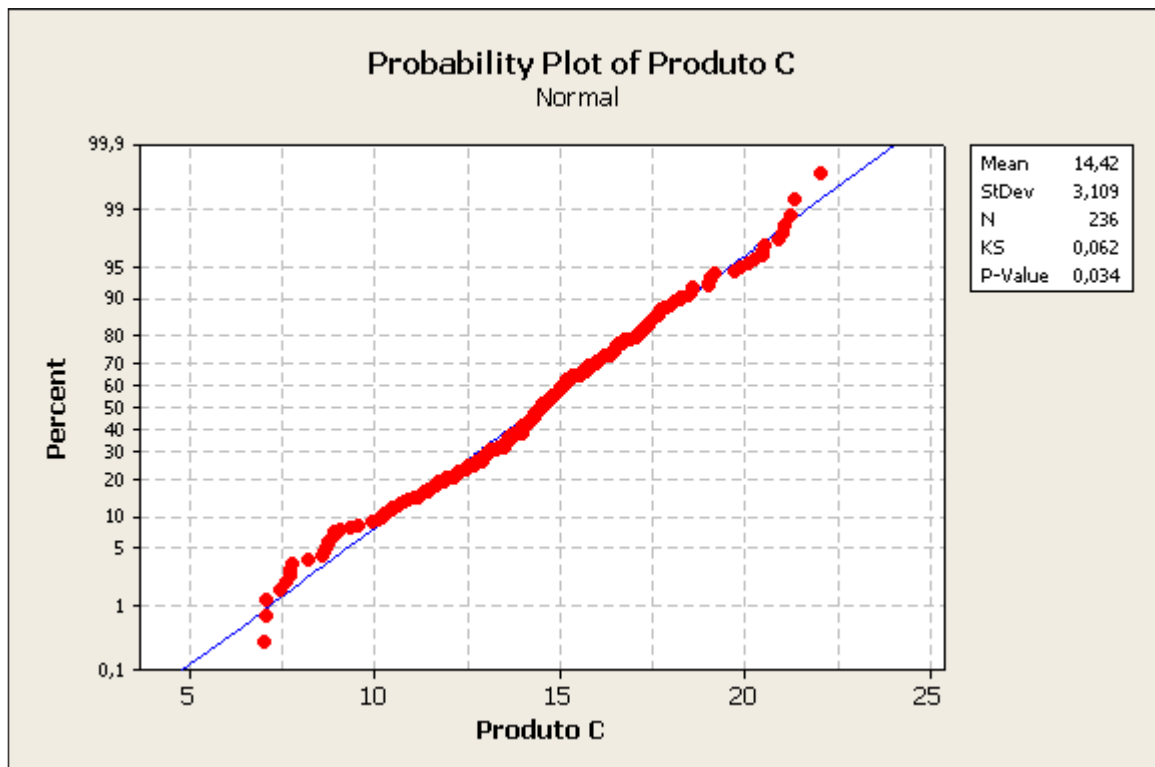


Figura 55 - Teste de normalidade do consumo específico do produto C

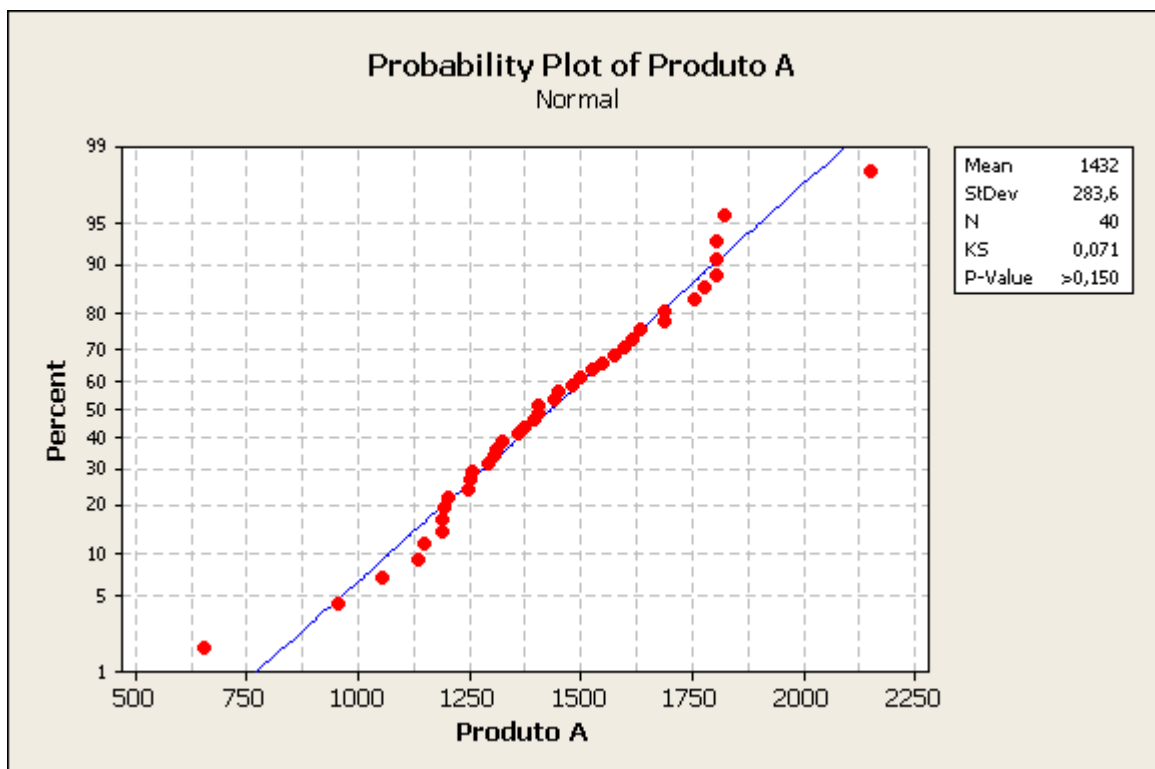


Figura 56 - Teste de normalidade do *lead time* do produto A

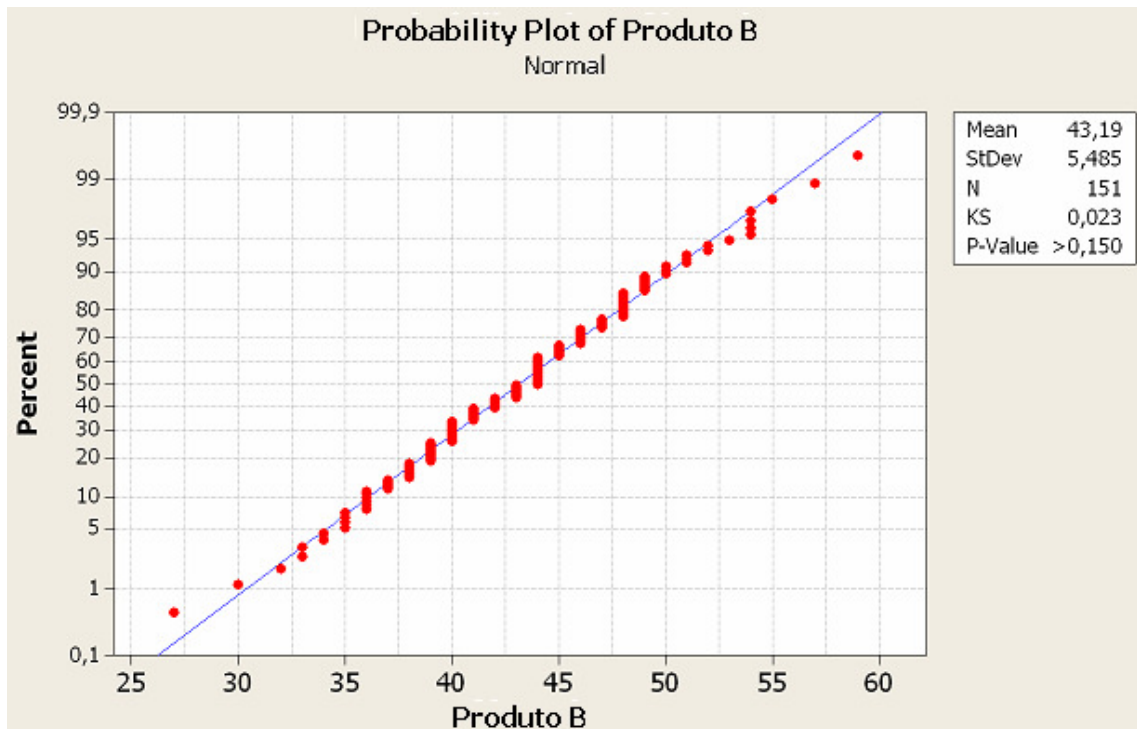


Figura 57 - Teste de normalidade do *lead time* do produto B

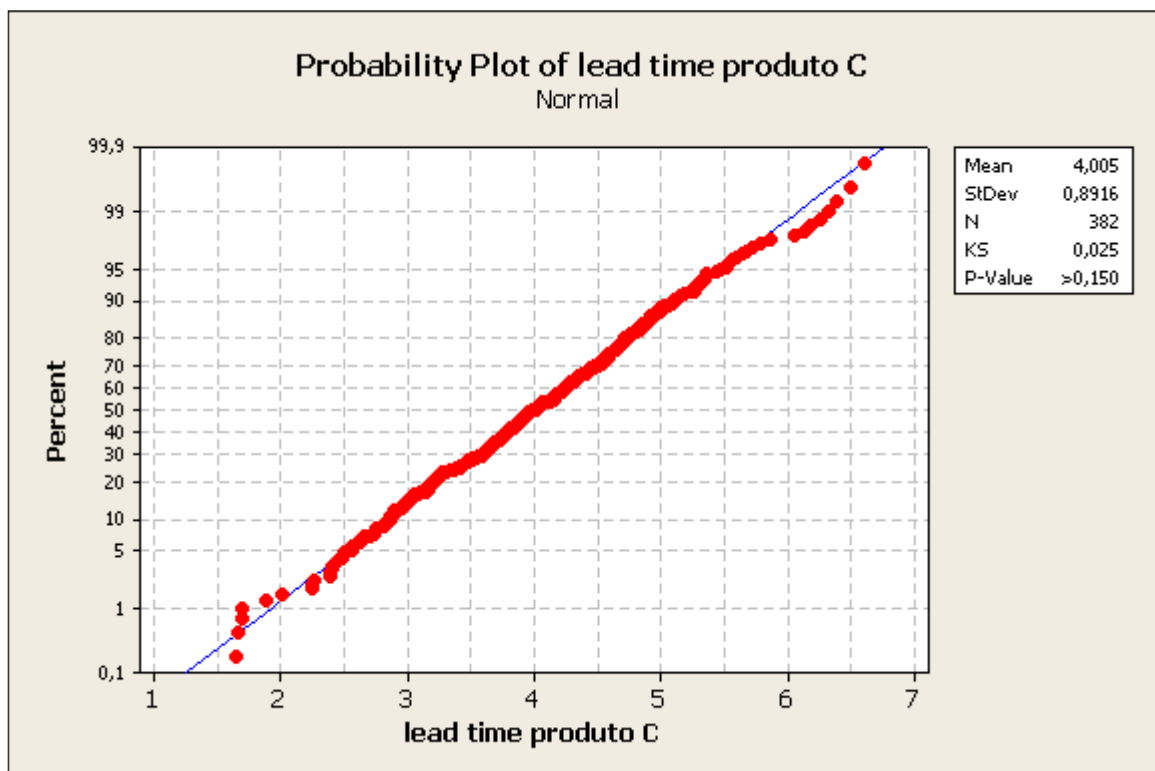
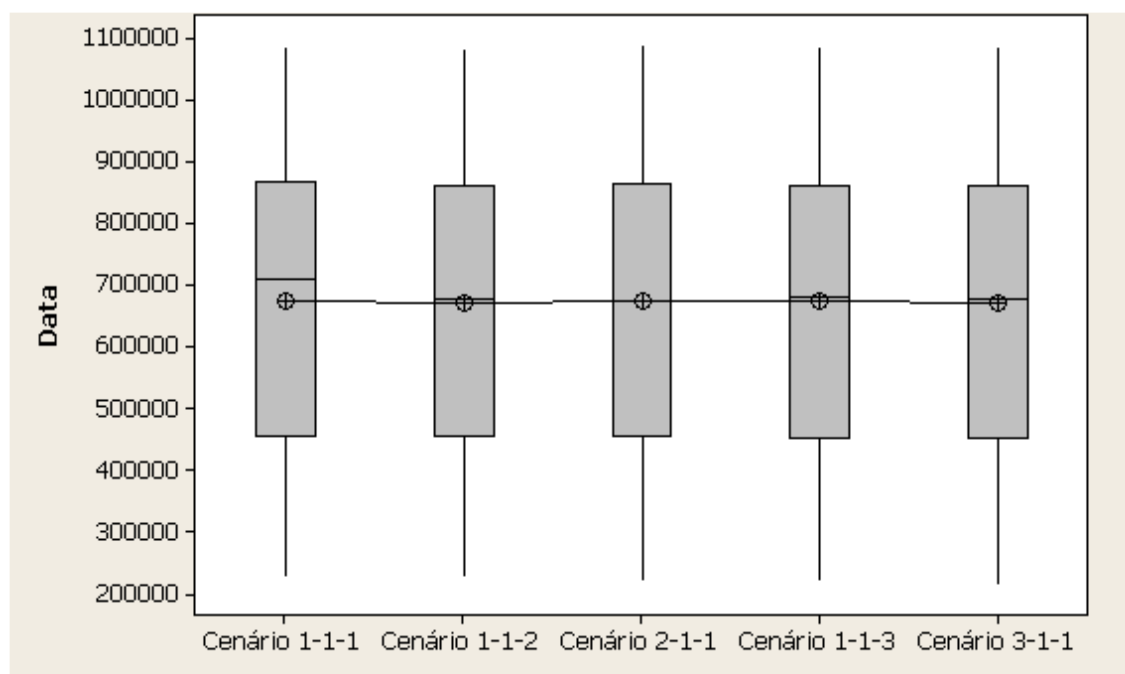


Figura 58 - Teste de normalidade do *lead time* do produto C

## ANEXO E - Testes ANOVA e T-Student



### One-way ANOVA: Cenário 1-1-; Cenário 1-1-; Cenário 2-1-; Cenário 1-1-; ...

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	4	4414569672	1103642418	0,02	0,999
Error	1828	1,18400E+14	64770317719		
Total	1832	1,18405E+14			

S = 254500 R-Sq = 0,00% R-Sq(adj) = 0,00%

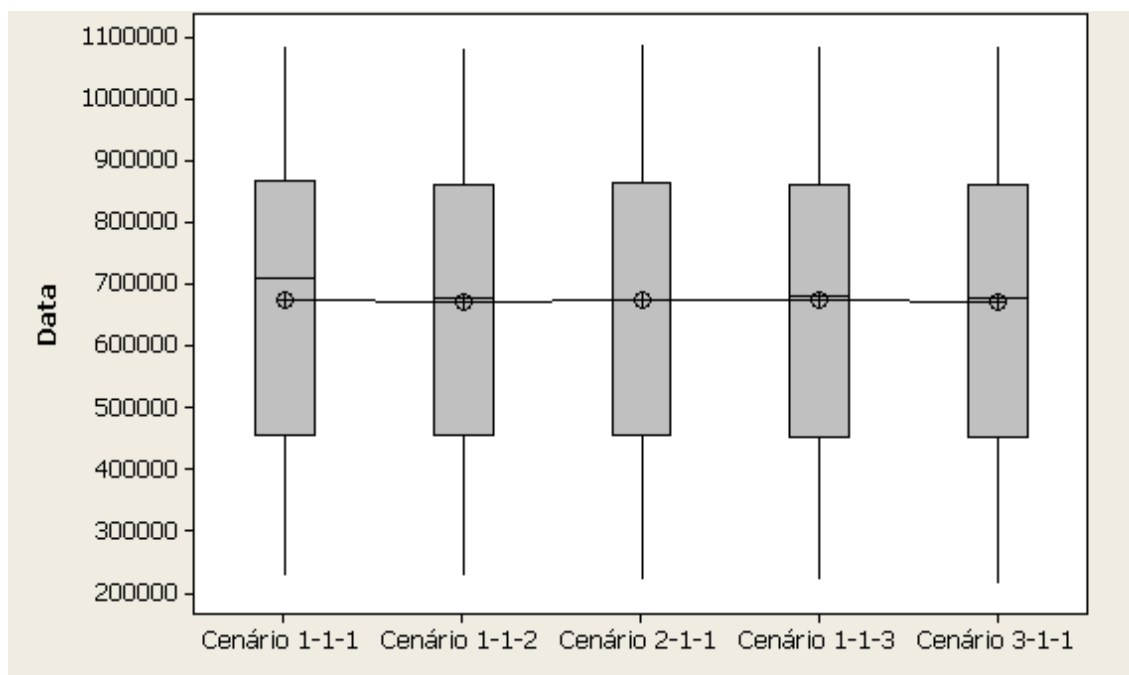
Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Cenário 1-1-1	366	676549	253879	(-----+-----+-----+-----+)
Cenário 1-1-2	366	673301	254029	(-----+-----+-----+-----+)
Cenário 2-1-1	367	674844	255079	(-----+-----+-----+-----+)
Cenário 1-1-3	367	674482	254967	(-----+-----+-----+-----+)
Cenário 3-1-1	367	671914	254541	(-----+-----+-----+-----+)

660000 675000 690000 705000

Pooled StDev = 254500

Figura 59- Testa ANOVA Produto A cadeia tipo I





**One-way ANOVA: Cenário 1-1-; Cenário 1-1-; Cenário 2-1-; Cenário 1-1-; ...**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	4	4414569672	1103642418	0,02	0,999
Error	1828	1,18400E+14	64770317719		
Total	1832	1,18405E+14			

S = 254500    R-Sq = 0,00%    R-Sq(adj) = 0,00%

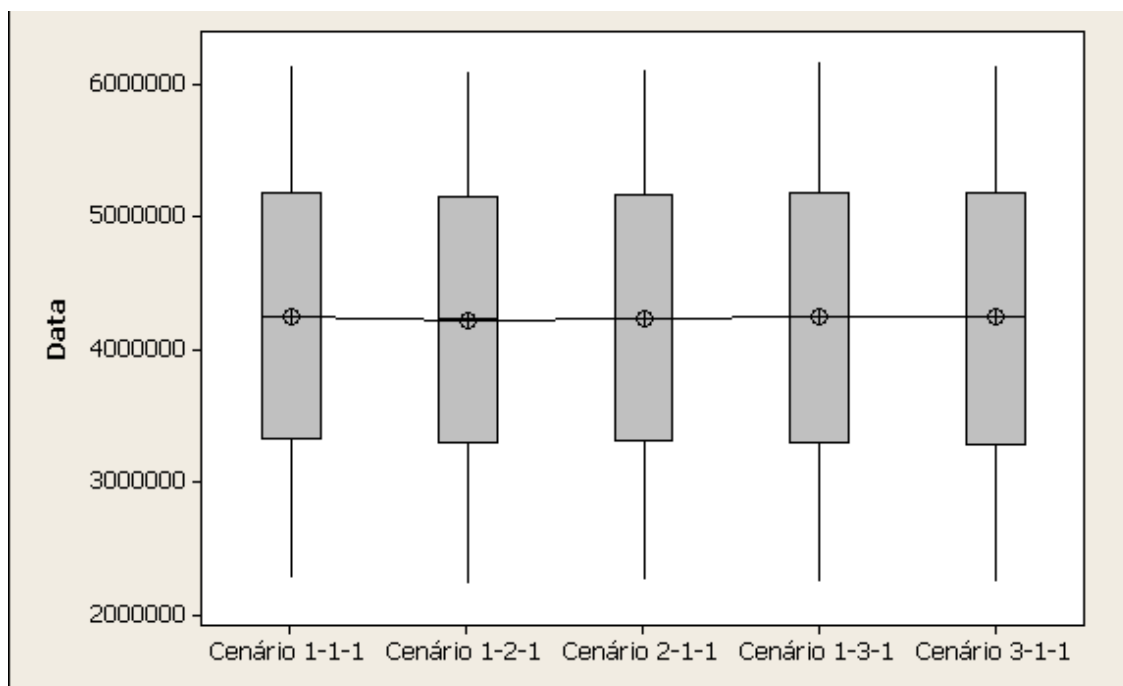
Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Cenário 1-1-1	366	676549	253879	(-----+-----+-----+-----+)
Cenário 1-1-2	366	673301	254029	(-----+-----+-----+-----+)
Cenário 2-1-1	367	674844	255079	(-----+-----+-----+-----+)
Cenário 1-1-3	367	674482	254967	(-----+-----+-----+-----+)
Cenário 3-1-1	367	671914	254541	(-----+-----+-----+-----+)

660000    675000    690000    705000

Pooled StDev = 254500

**Figura 61- Teste ANOVA Produto B cadeia tipo I**





**One-way ANOVA: Cenário 1-1-; Cenário 1-2-; Cenário 2-1-; Cenário 1-3-; ...**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	4	1,96133E+11	49033174536	0,03	0,998
Error	1830	2,94039E+15	1,60677E+12		
Total	1834	2,94059E+15			

S = 1267586    R-Sq = 0,01%    R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Cenário 1-1-1	367	4251246	1264859	(-----+-----+-----+-----+)
Cenário 1-2-1	367	4223924	1265748	(-----+-----+-----+-----+)
Cenário 2-1-1	367	4234740	1265518	(-----+-----+-----+-----+)
Cenário 1-3-1	367	4250961	1270866	(-----+-----+-----+-----+)
Cenário 3-1-1	367	4241748	1270921	(-----+-----+-----+-----+)

-----+-----+-----+-----+  
4160000    4240000    4320000    4400000

Pooled StDev = 1267586

**Figura 62- Teste ANOVA Produto C cadeia tipo I**

**Two-Sample T-Test and CI: 2\_1\_1; 2\_2\_2**

Two-sample T for 2\_1\_1 vs 2\_2\_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
2_1_1	899	1062985	541660	18065
2_2_2	899	1013000	548421	18291

Difference = mu (2\_1\_1) - mu (2\_2\_2)

Estimate for difference: 49985

95% CI for difference: (-437; 100406)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1,94 P-Value = 0,052 DF = 1795

**Figura 63- Teste T-Student Produto A cadeia tipo II****Two-Sample T-Test and CI: 1\_2\_1; 2\_2\_2**

Two-sample T for 1\_2\_1 vs 2\_2\_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
1_2_1	899	240370	32572	1086
2_2_2	899	243210	31074	1036

Difference = mu (1\_2\_1) - mu (2\_2\_2)

Estimate for difference: -2840

95% CI for difference: (-5785; 105)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1,89 P-Value = 0,059 DF = 1792

**Figura 64- Teste T-Student Produto B cadeia tipo II****Two-Sample T-Test and CI: 1\_1\_2; 2\_2\_2**

Two-sample T for 1\_1\_2 vs 2\_2\_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
1_1_2	899	1972510	432584	14427
2_2_2	899	1972151	433246	14450

Difference = mu (1\_1\_2) - mu (2\_2\_2)

Estimate for difference: 359

95% CI for difference: (-39689; 40407)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0,02 P-Value = 0,986 DF = 1795

**Figura 65- Teste T-Student Produto C cadeia tipo II**

**Two-Sample T-Test and CI: 3\_1\_1; 3\_3\_3**

Two-sample T for 3\_1\_1 vs 3\_3\_3

	N	Mean	StDev	SE Mean
3_1_1	899	1473297	423349	14119
3_3_3	899	1464712	424818	14168

Difference = mu (3\_1\_1) - mu (3\_3\_3)

Estimate for difference: 8585

95% CI for difference: (-30646; 47816)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0,43 P-Value = 0,668 DF = 1795

**Figura 66- Teste T-Student Produto A cadeia tipo III****Two-Sample T-Test and CI: 1\_3\_1; 3\_3\_3**

Two-sample T for 1\_3\_1 vs 3\_3\_3

	N	Mean	StDev	SE Mean
1_3_1	899	287099	14477	483
3_3_3	899	287761	13524	451

Difference = mu (1\_3\_1) - mu (3\_3\_3)

Estimate for difference: -661

95% CI for difference: (-1957; 635)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1,00 P-Value = 0,317 DF = 1787

**Figura 67- Teste T-Student Produto B cadeia tipo III****Two-Sample T-Test and CI: 1\_1\_3; 3\_3\_3**

Two-sample T for 1\_1\_3 vs 3\_3\_3

	N	Mean	StDev	SE Mean
1_1_3	899	2463678	177344	5915
3_3_3	899	2477738	175916	5867

Difference = mu (1\_1\_3) - mu (3\_3\_3)

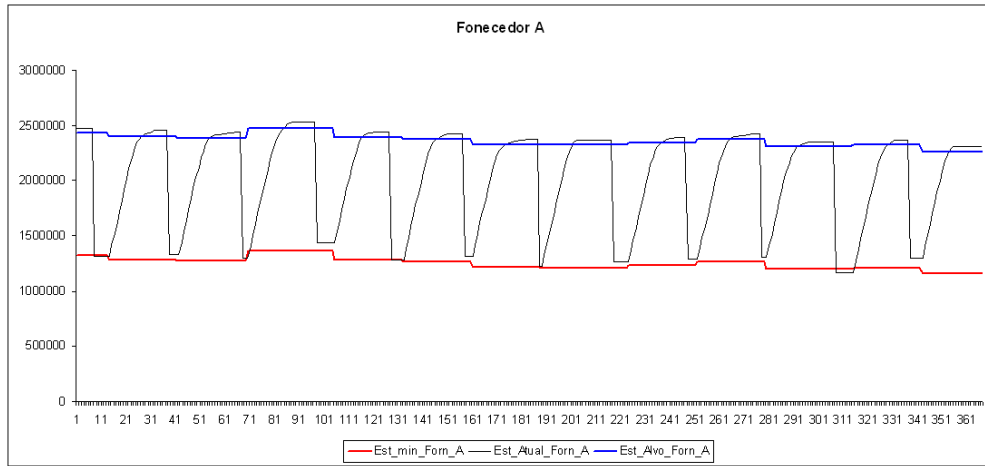
Estimate for difference: -14060

95% CI for difference: (-30399; 2280)

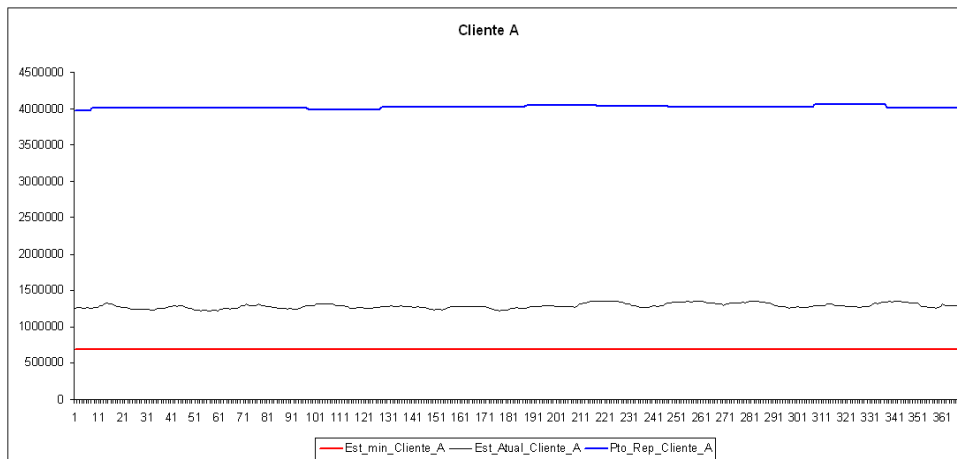
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1,69 P-Value = 0,092 DF = 1795

**Figura 68- Teste T-Student Produto C cadeia tipo III**

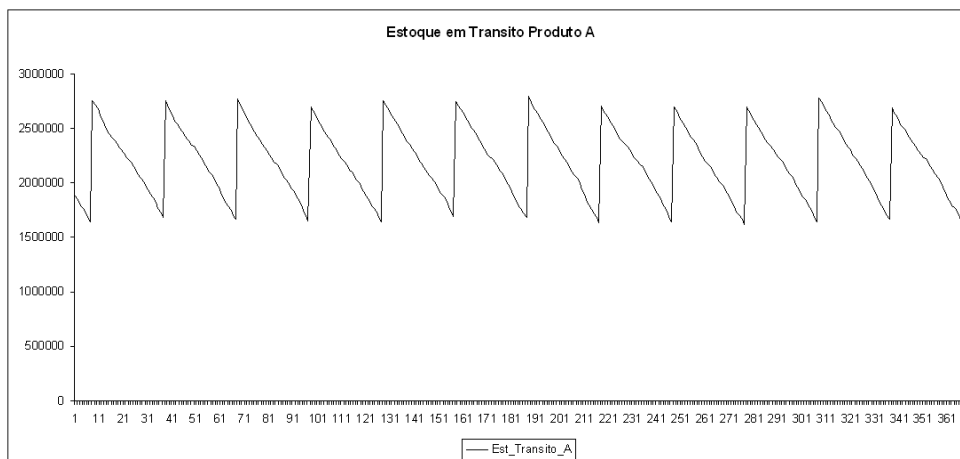
## ANEXO F - Gráficos



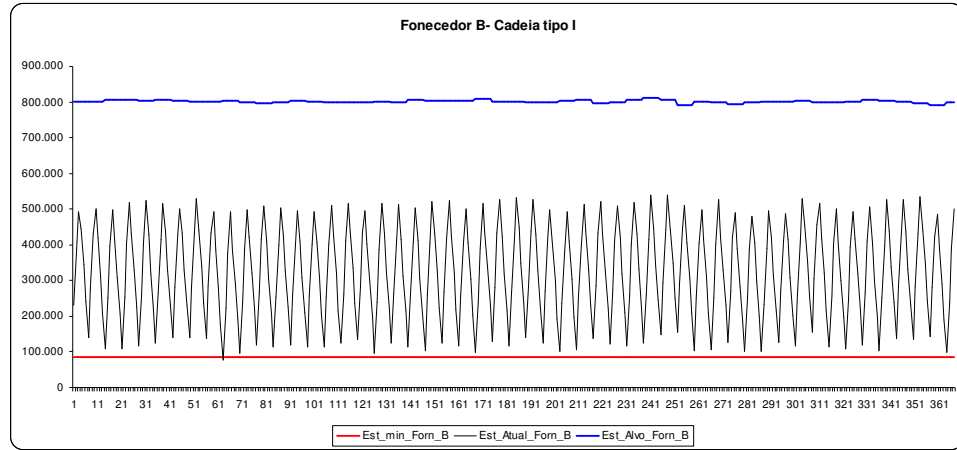
**Figura 69 - Estoque Fornecedor Produto A**



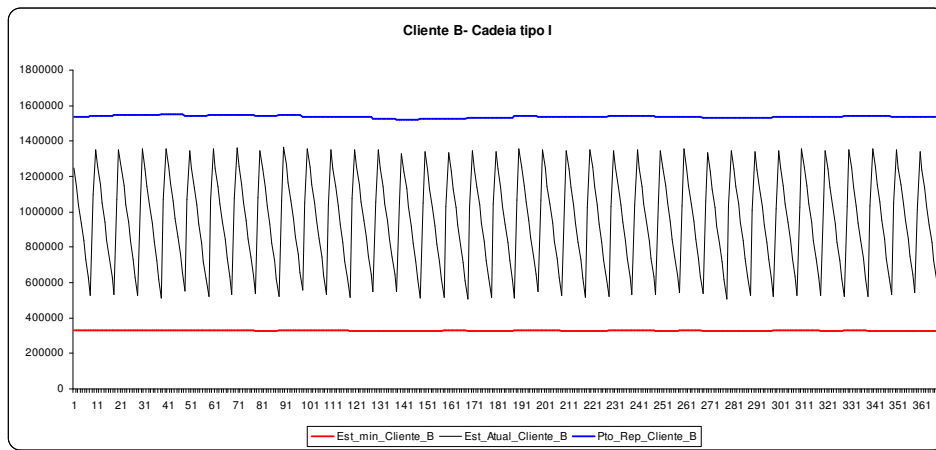
**Figura 70 - Estoque Cliente Produto A**



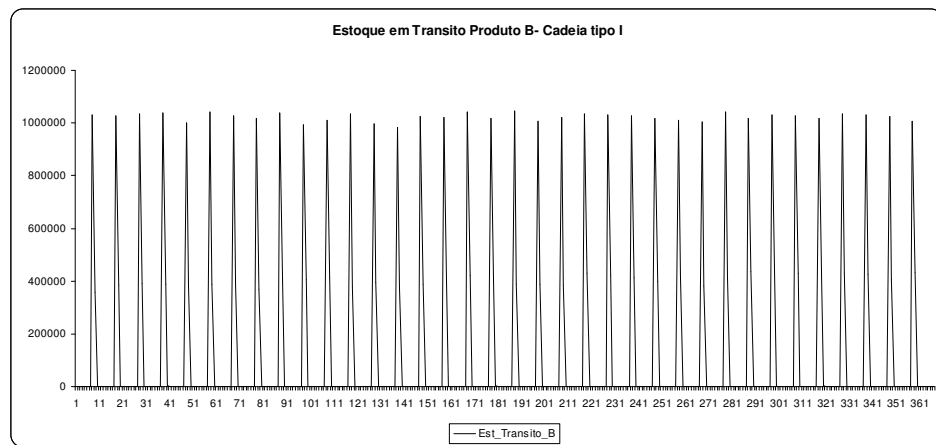
**Figura 71 - Estoque Trânsito Produto A**



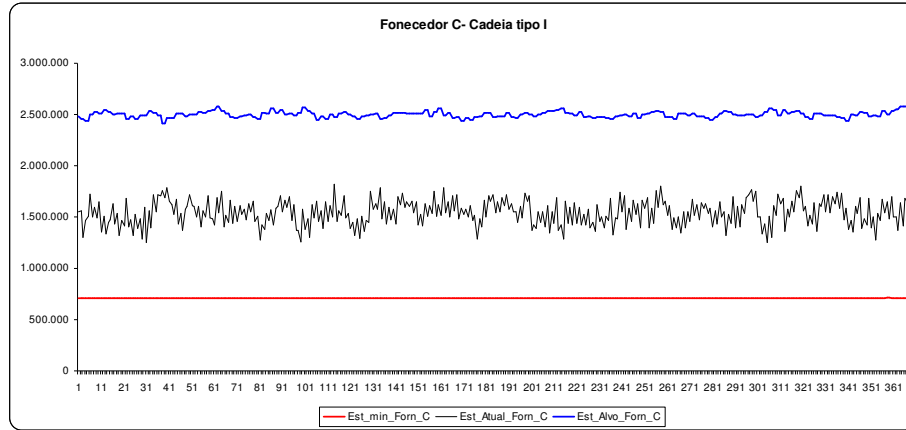
**Figura 72 - Estoque do produto B, no fornecedor para cadeia tipo I**



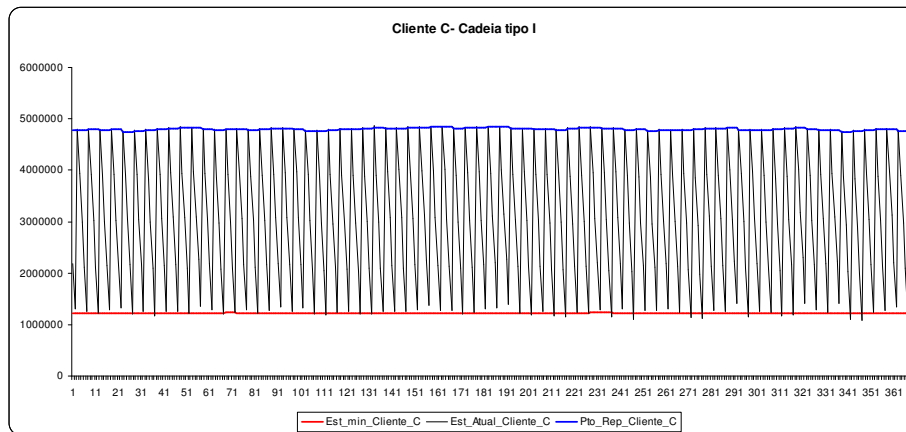
**Figura 73 - Estoque do produto B, no cliente para cadeia tipo I**



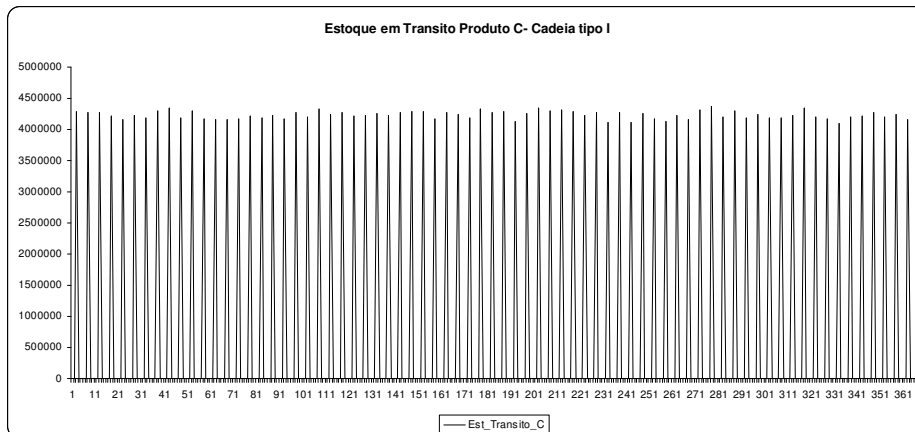
**Figura 74 - Estoque em trânsito do produto B para cadeia tipo I**



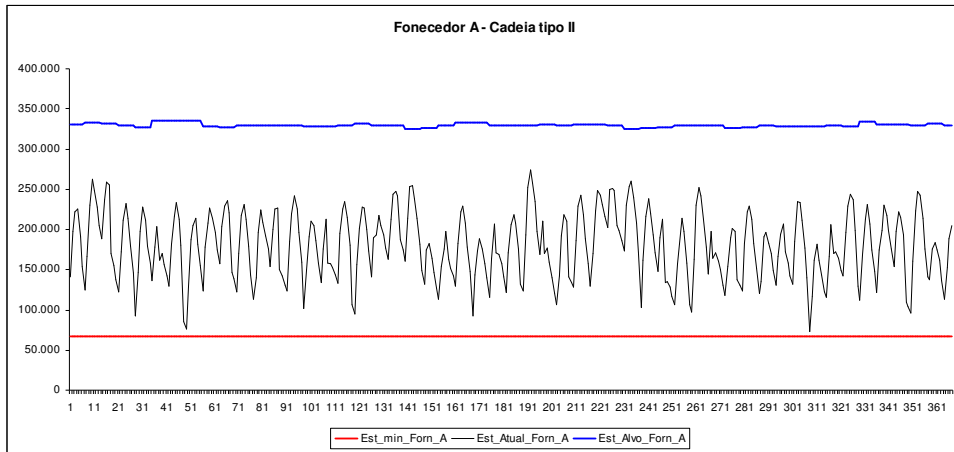
**Figura 75 - Estoque do produto C no fornecedor para cadeia tipo I**



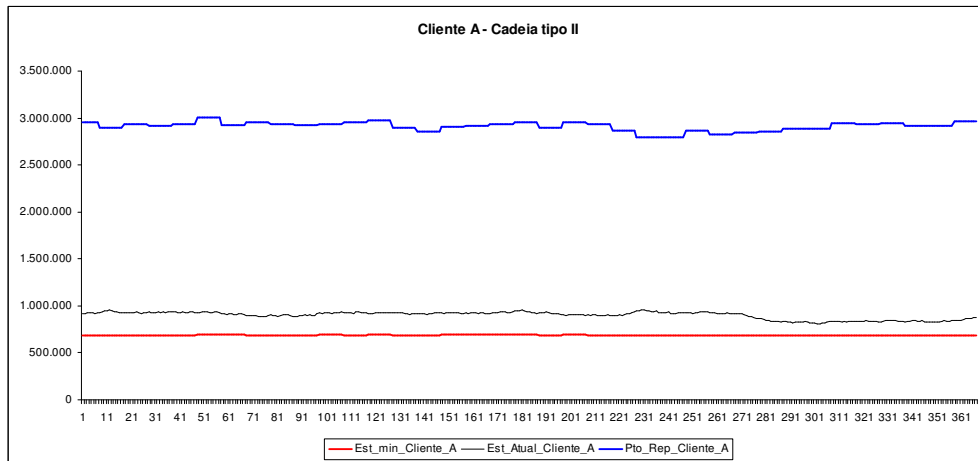
**Figura 76 - Estoque do produto C no cliente para cadeia tipo I**



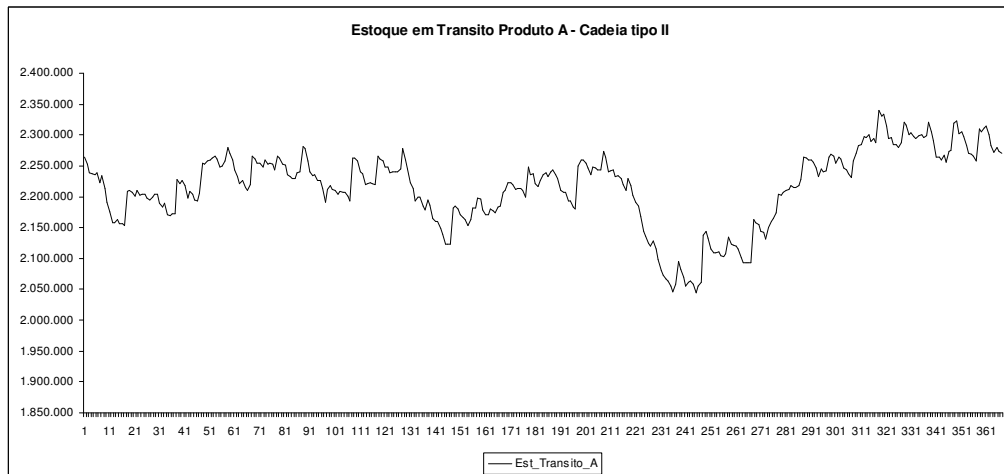
**Figura 77 - Estoque em trânsito do produto C para cadeia tipo I**



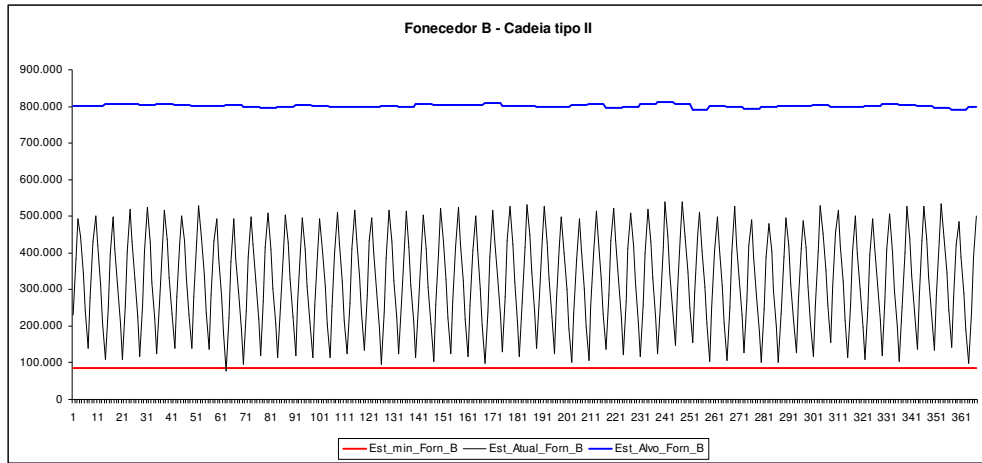
**Figura 78 - Estoque do produto A no fornecedor para cadeia tipo II**



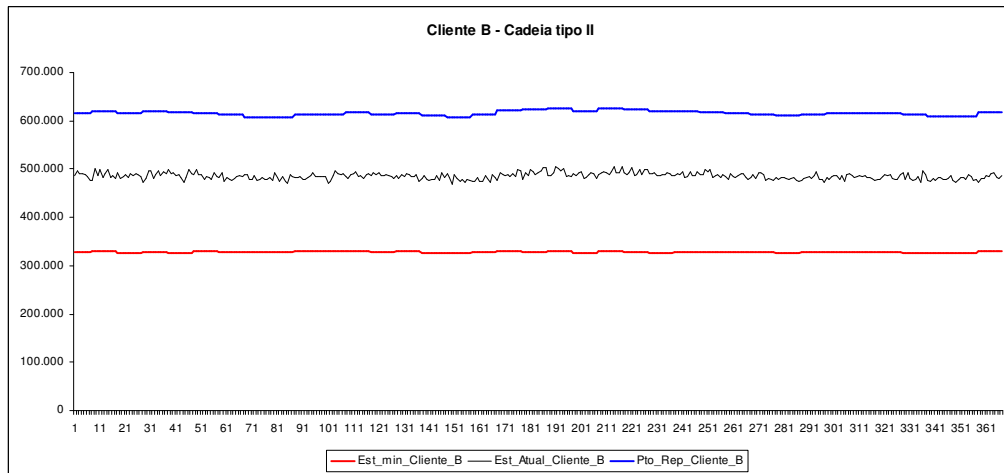
**Figura 79 - Estoque do produto A no cliente para cadeia tipo II**



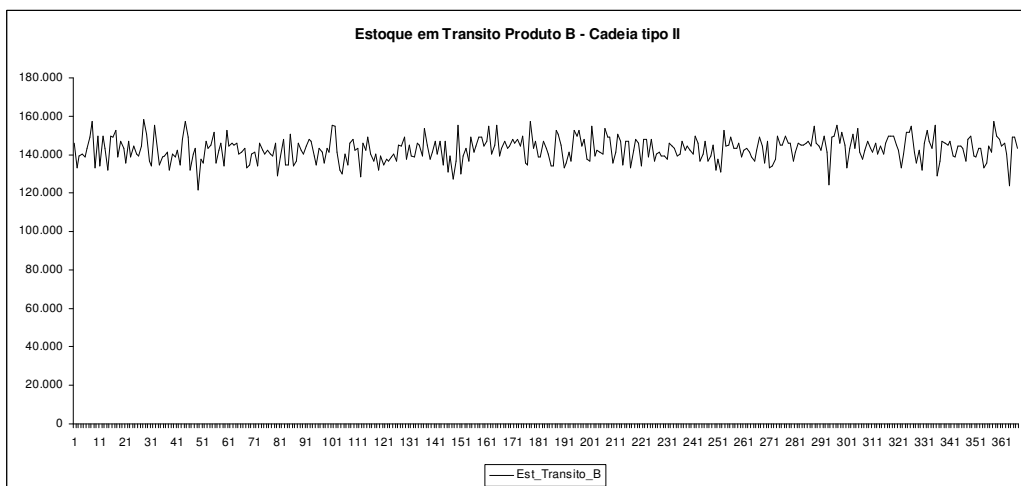
**Figura 80 - Estoque em trânsito do produto A para cadeia tipo II**



**Figura 81 - Estoque do produto B no fornecedor para cadeia tipo II**

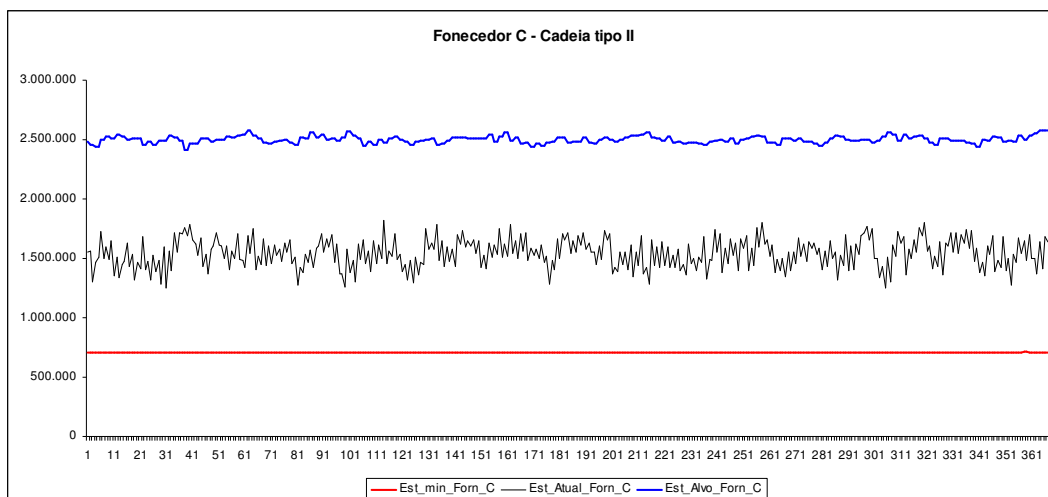


**Figura 82 - Estoque do produto B no cliente para cadeia tipo II**

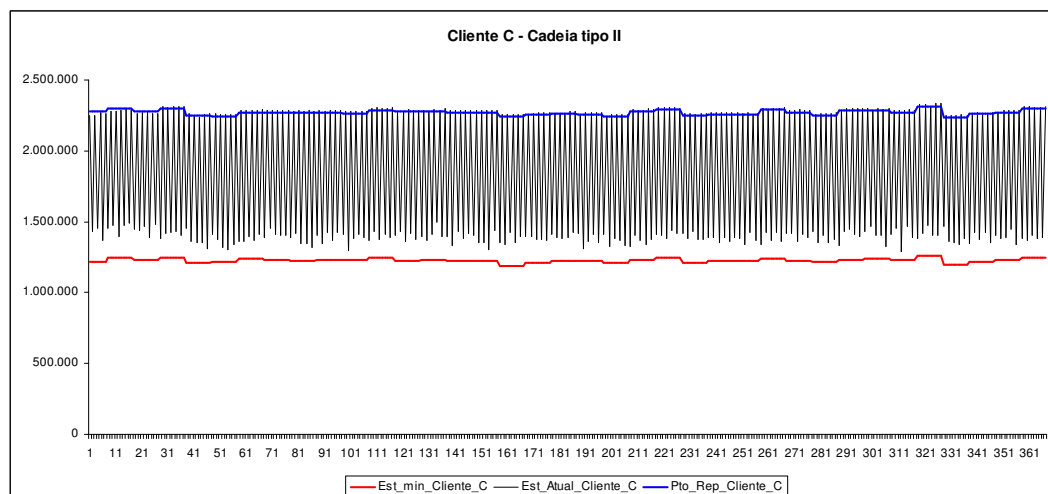


**Figura 83 - Estoque em trânsito do produto B para cadeia tipo II**

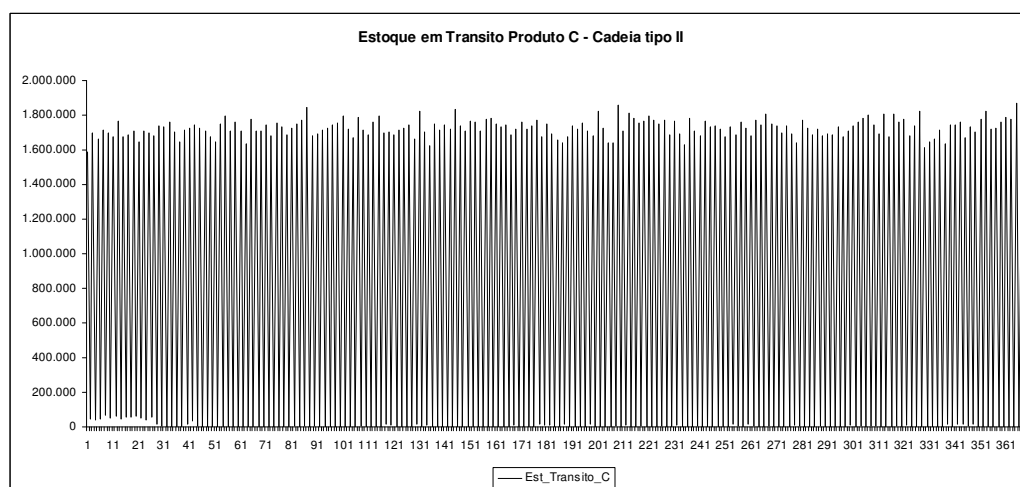




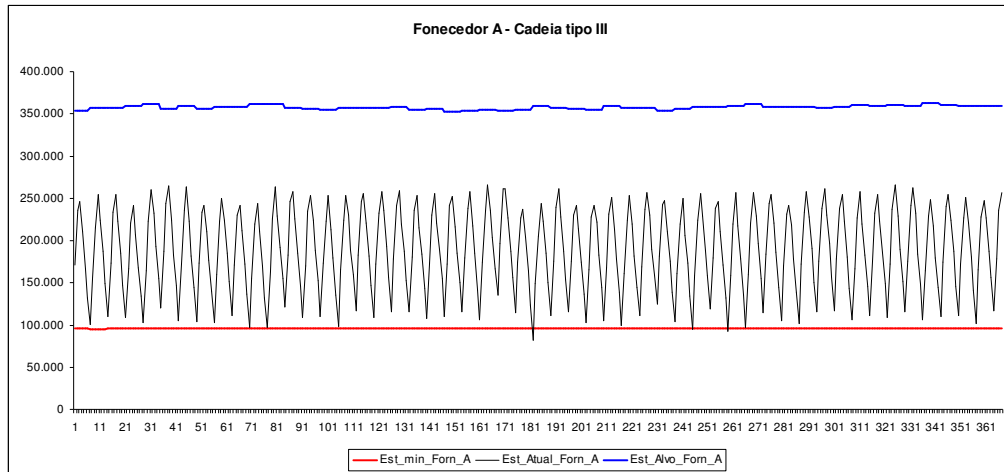
**Figura 84 - Estoque do produto C no fornecedor para cadeia tipo II**



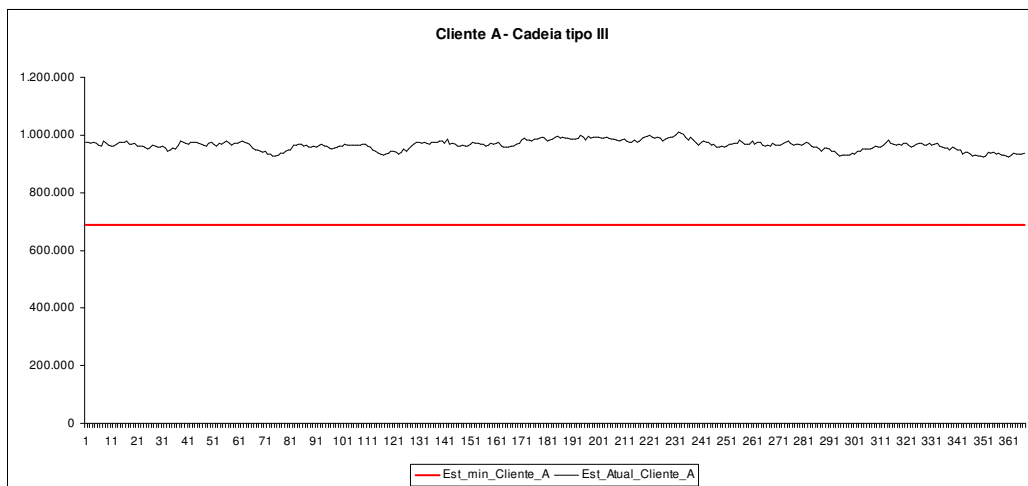
**Figura 85 - Estoque do produto C no cliente para cadeia tipo II**



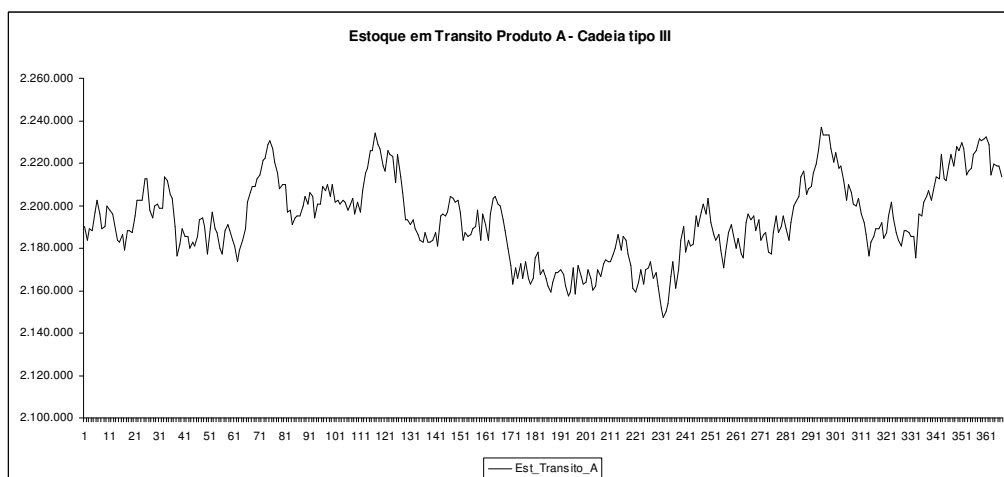
**Figura 86 - Estoque em trânsito do produto C para cadeia tipo II**



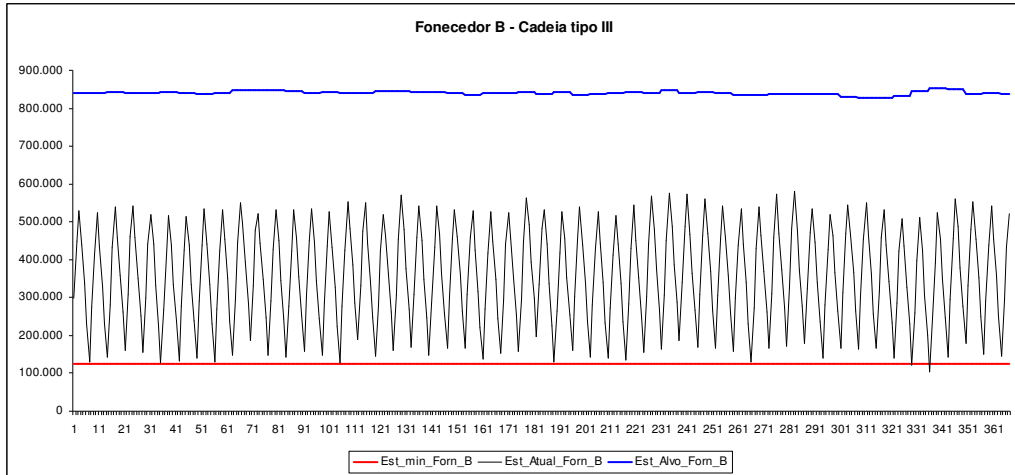
**Figura 87 - Estoque do produto A no fornecedor para cadeia tipo III**



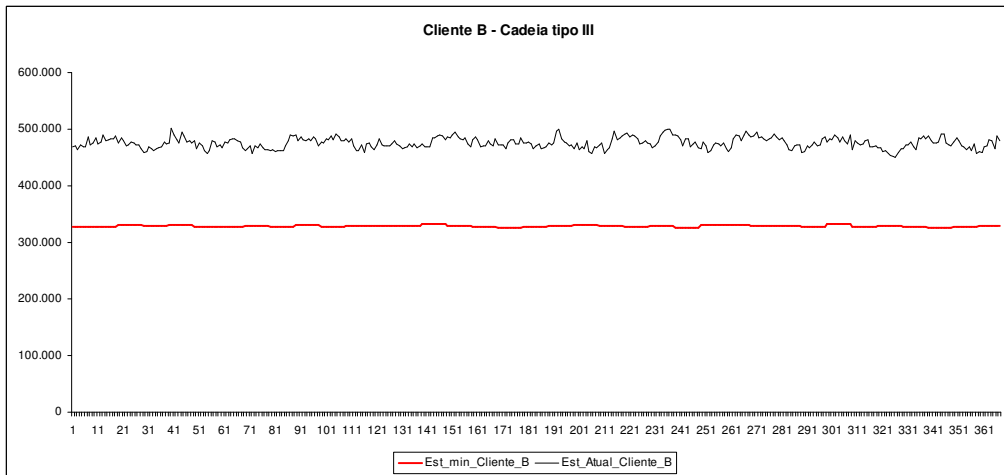
**Figura 88 - Estoque do produto A no cliente para cadeia tipo III**



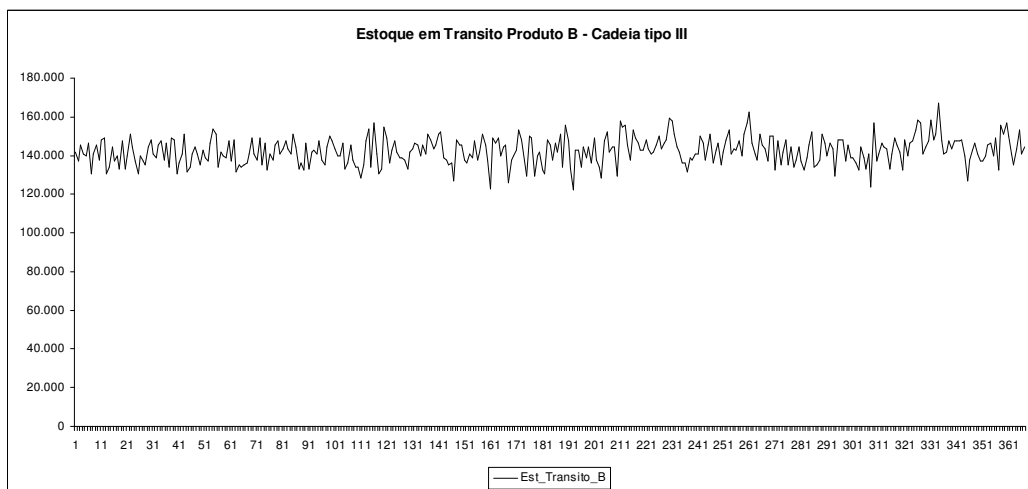
**Figura 89 - Estoque em trânsito do produto A para cadeia tipo III**



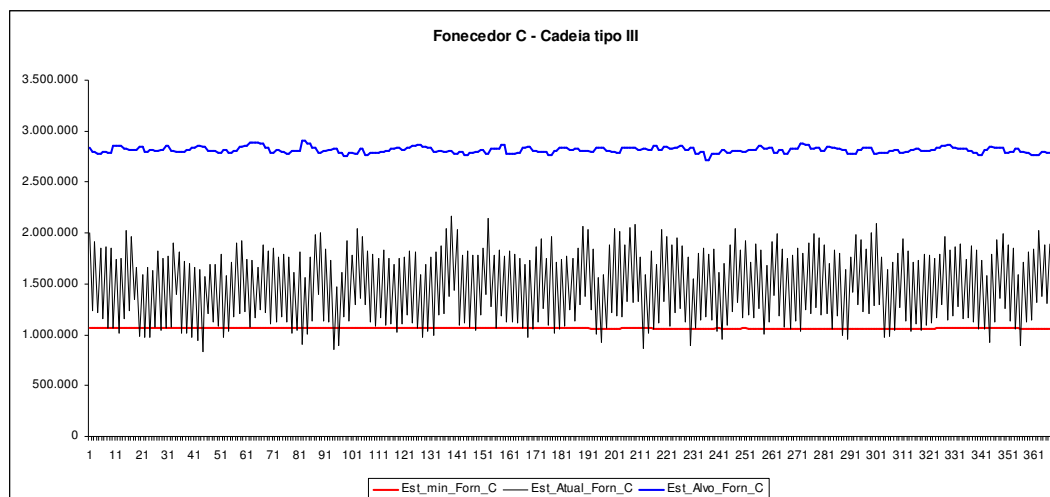
**Figura 90 - Estoque do produto B no fornecedor para cadeia tipo III**



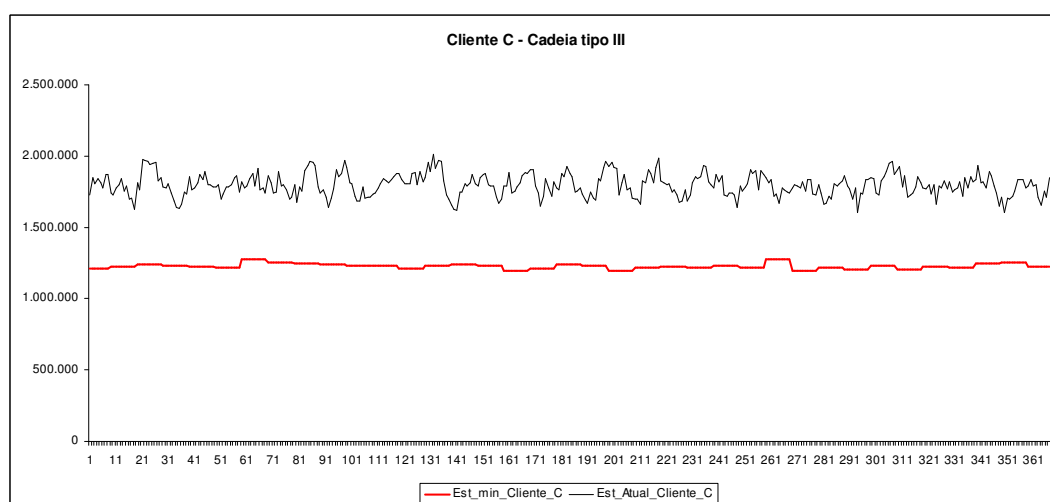
**Figura 91 - Estoque do produto B no cliente para cadeia tipo III**



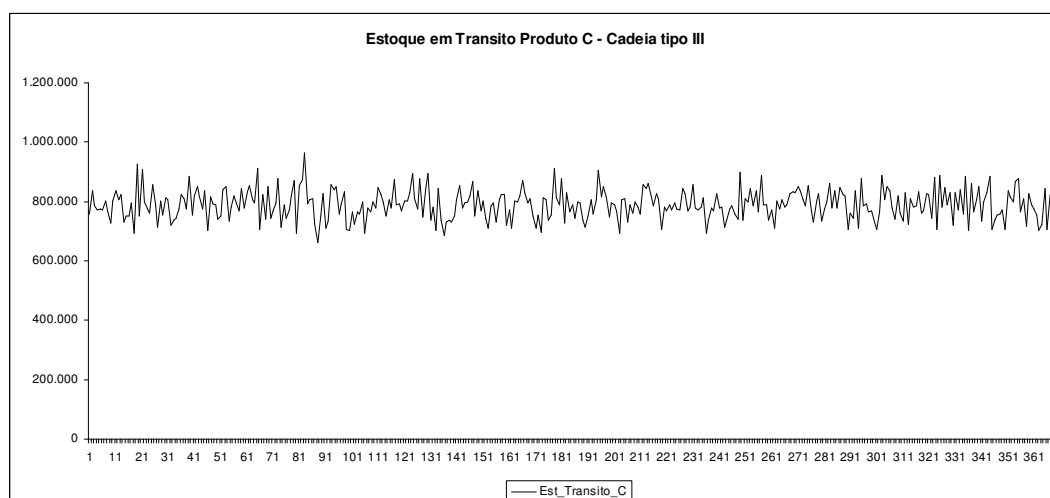
**Figura 92 - Estoque em trânsito do produto B para cadeia tipo III**



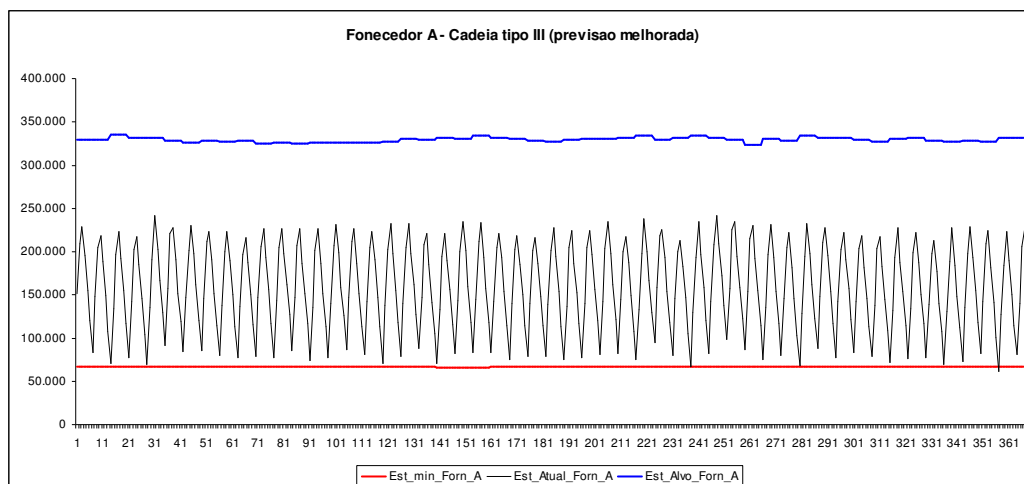
**Figura 93 - Estoque do produto C no fornecedor para cadeia tipo III**



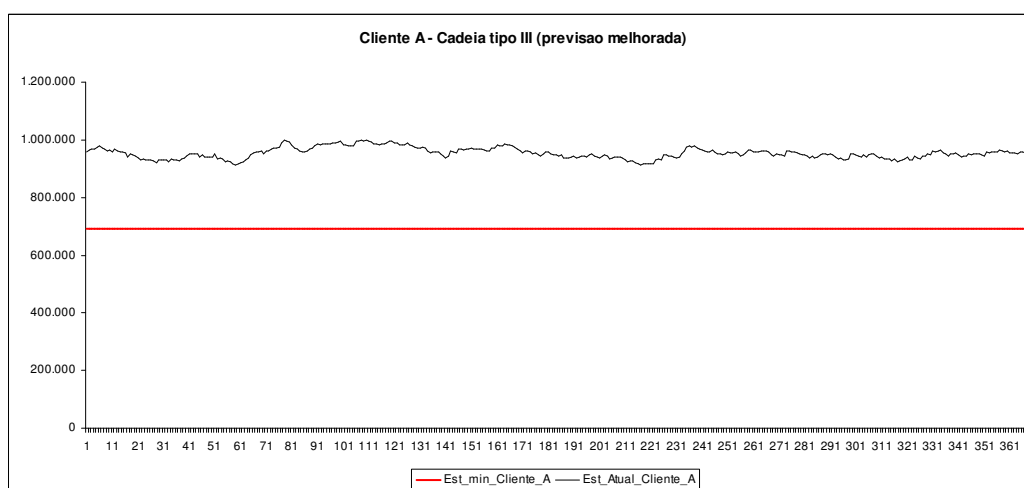
**Figura 94 - Estoque do produto C no cliente para cadeia tipo III**



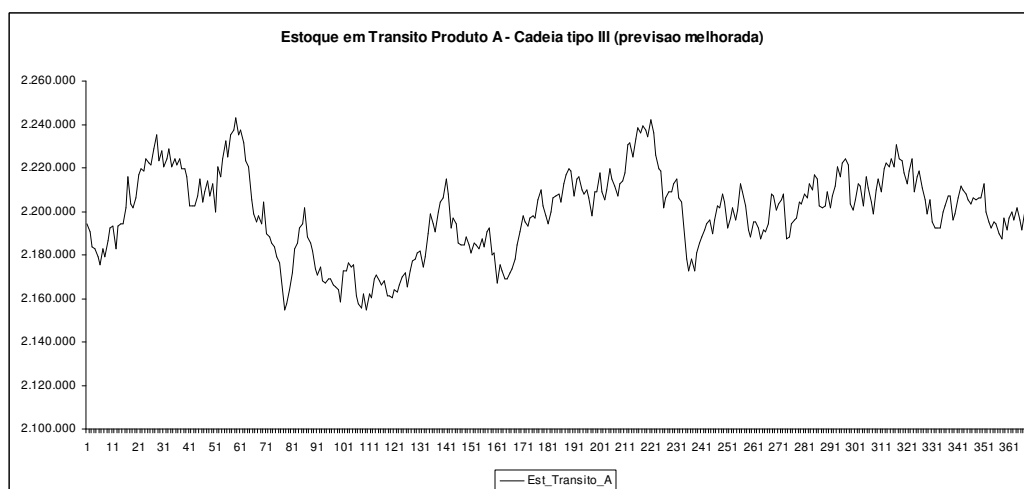
**Figura 95 - Estoque em trânsito do produto C para cadeia tipo III**



**Figura 96 - Estoque do produto A no fornecedor para cadeia tipo III com previsão melhorada**



**Figura 97 - Estoque do produto A no cliente para cadeia tipo III com previsão melhorada**



**Figura 98 - Estoque em trânsito do produto A para cadeia tipo III com previsão melhorada**

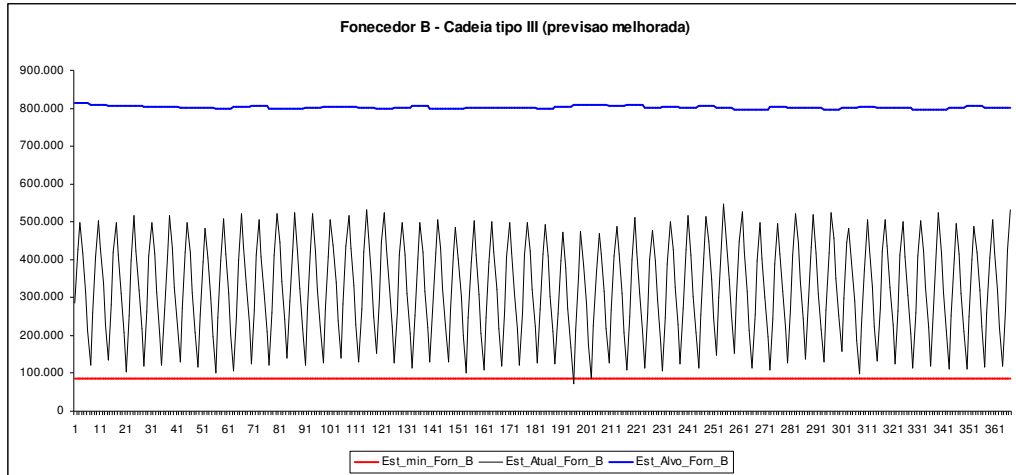


Figura 99 - Estoque do produto B no fornecedor para cadeia tipo III com previsão melhorada

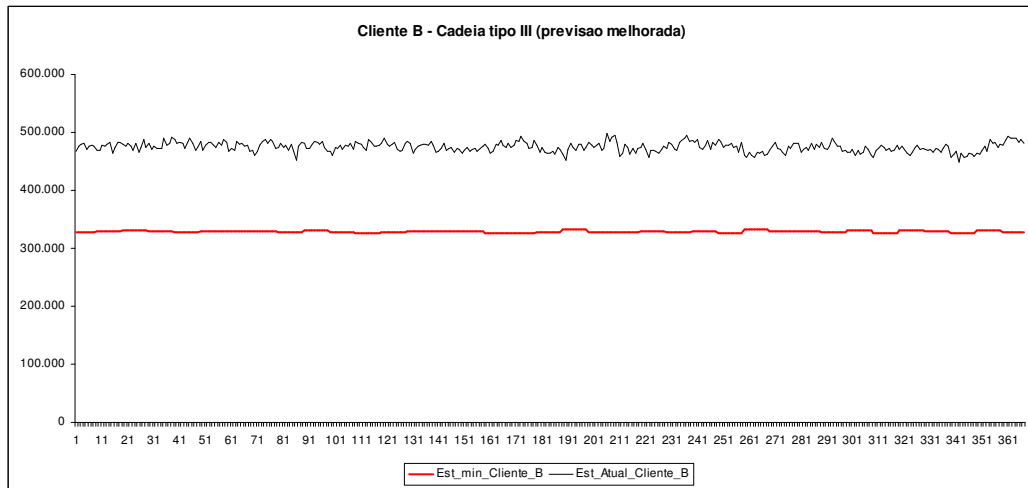


Figura 100 - Estoque do produto B no cliente para cadeia tipo III com previsão melhorada

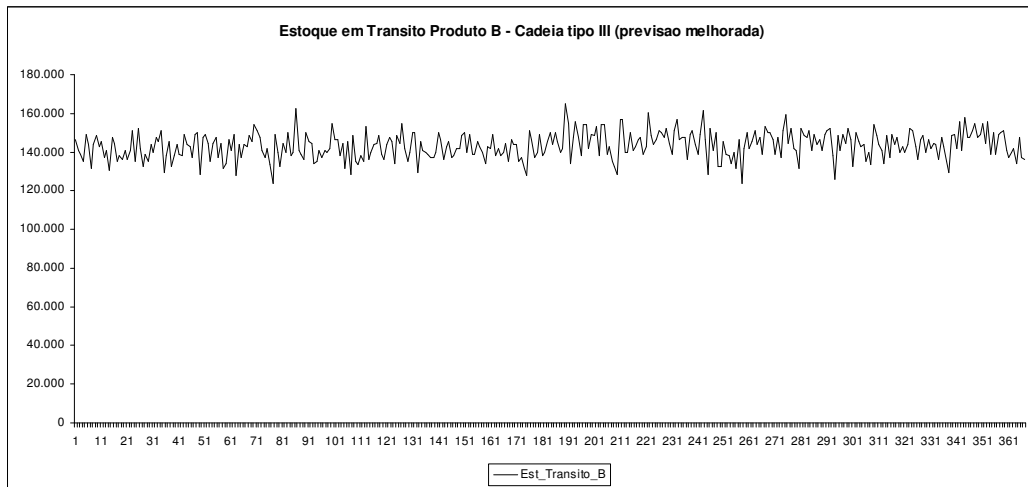
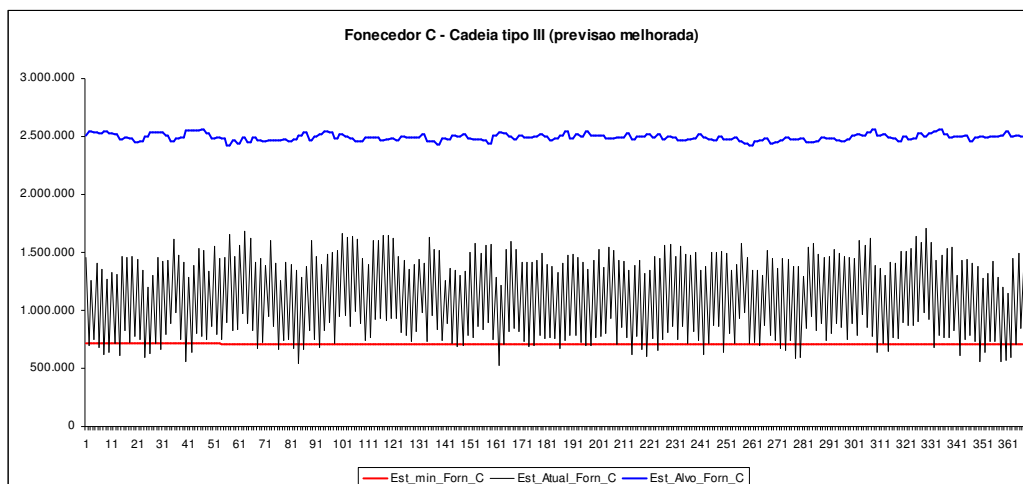
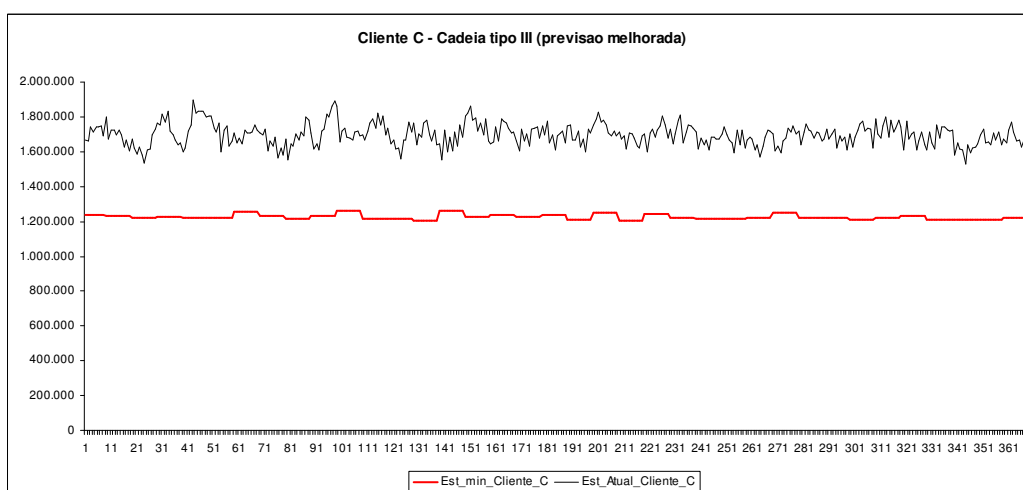


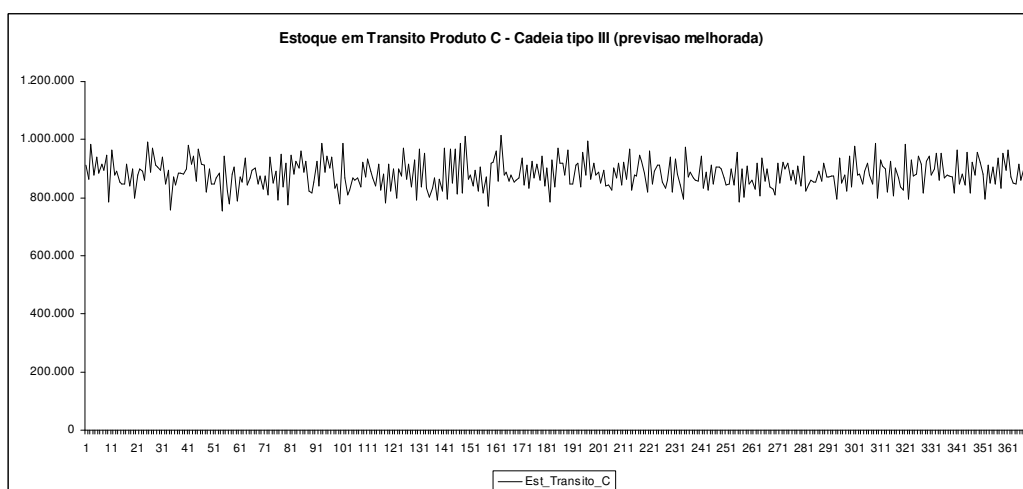
Figura 101 - Estoque em trânsito do produto B para cadeia tipo III com previsão melhorada



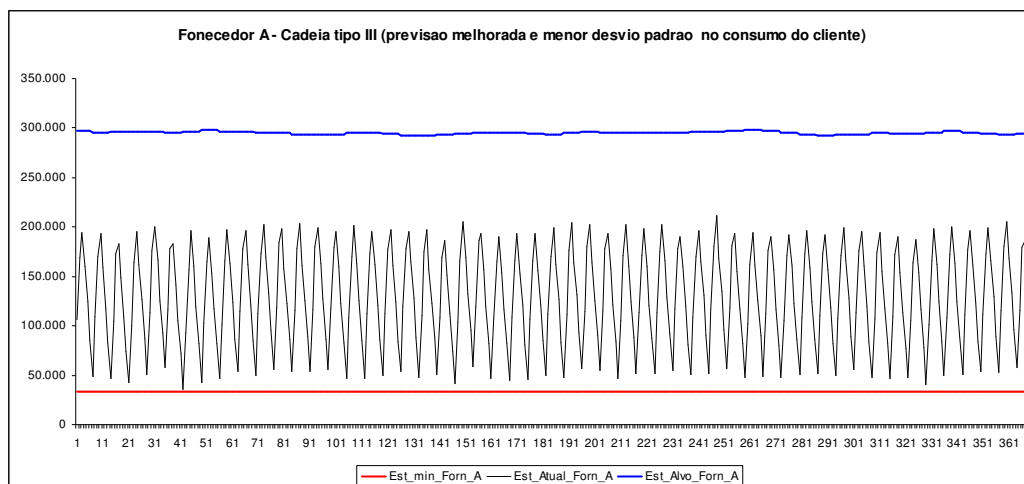
**Figura 102 - Estoque do produto C no fornecedor para cadeia tipo III com previsão melhorada**



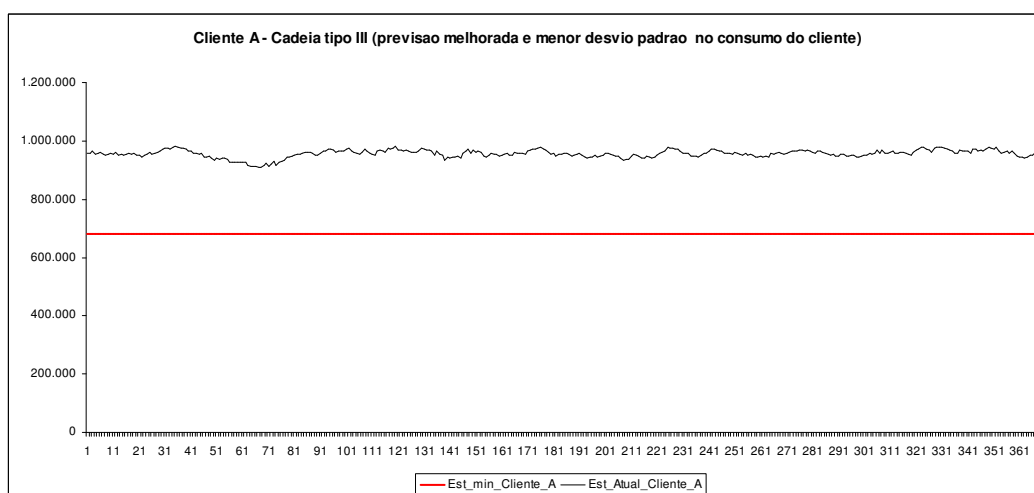
**Figura 103 - Estoque do produto C no cliente para cadeia tipo III com previsão melhorada**



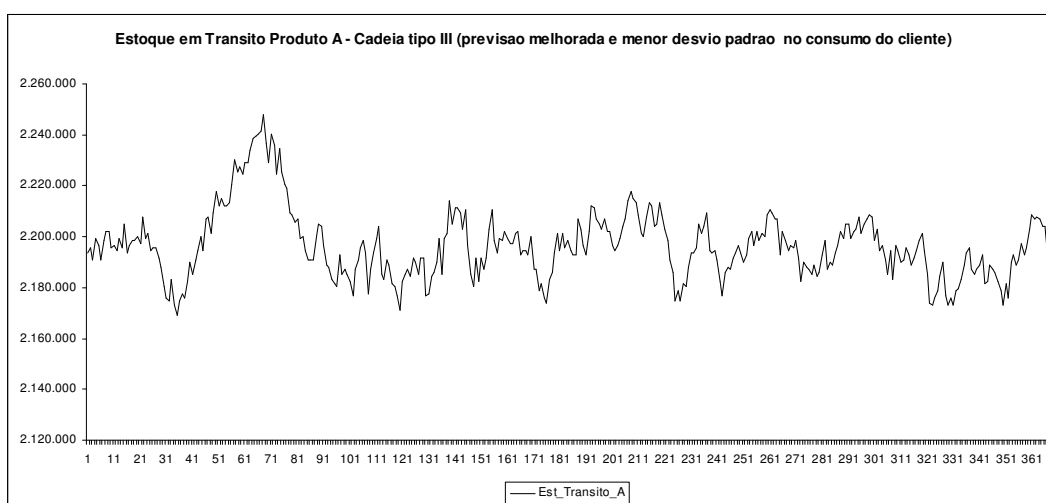
**Figura 104 - Estoque em trânsito do produto C para cadeia tipo III com previsão melhorada**



**Figura 105 - Estoque do produto A no fornecedor para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente**

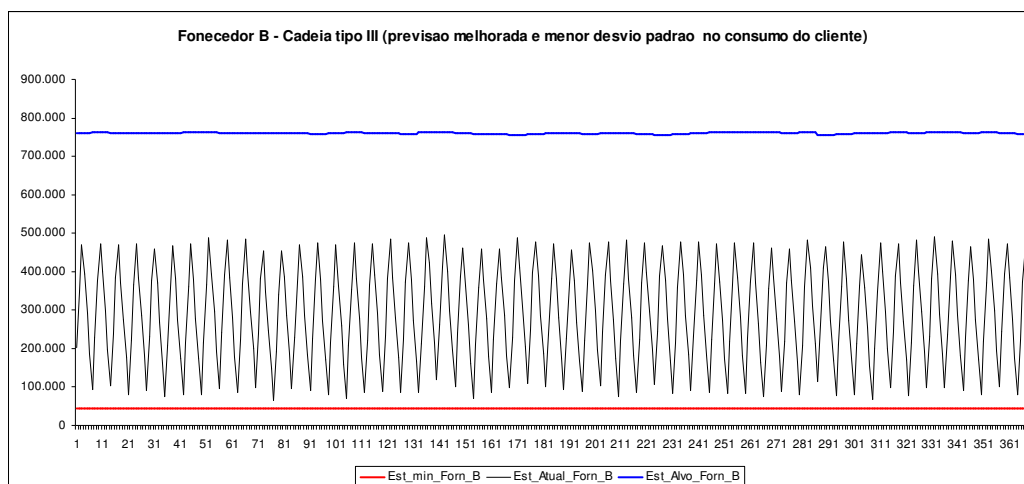


**Figura 106 - Estoque do produto A no cliente para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente**

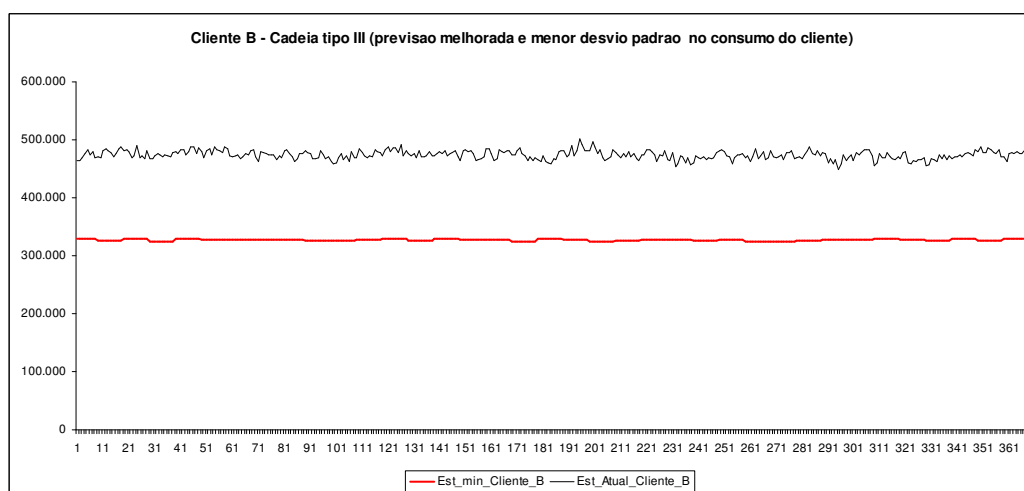


**Figura 107 - Estoque em trânsito do produto A para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente**

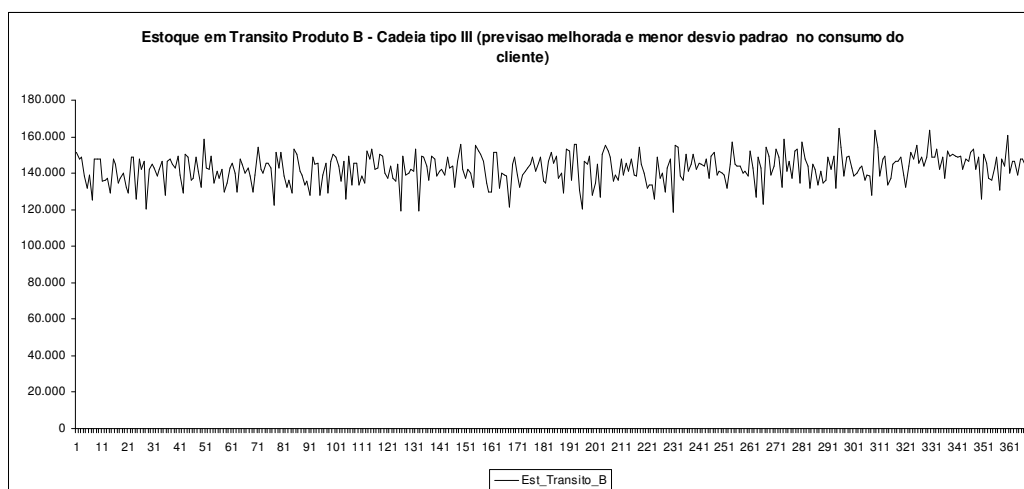




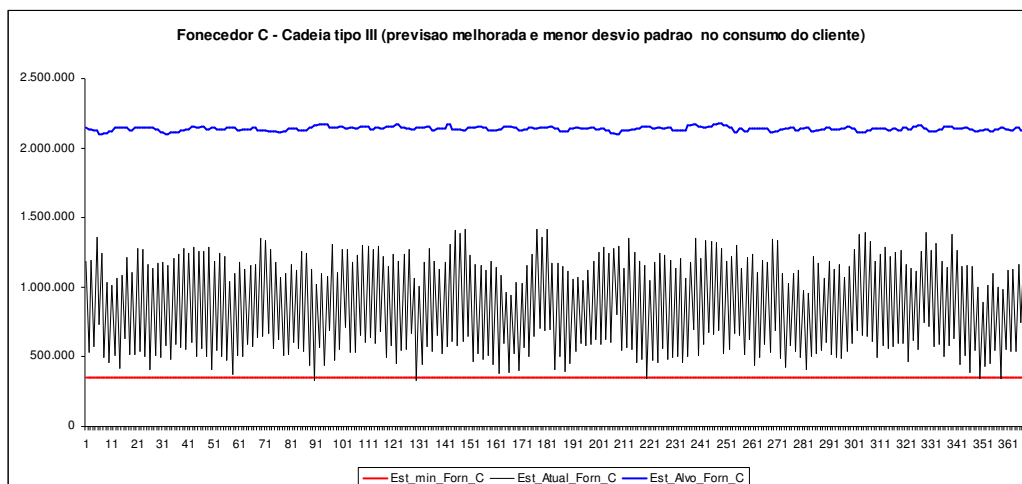
**Figura 108 - Estoque do produto B no fornecedor para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente**



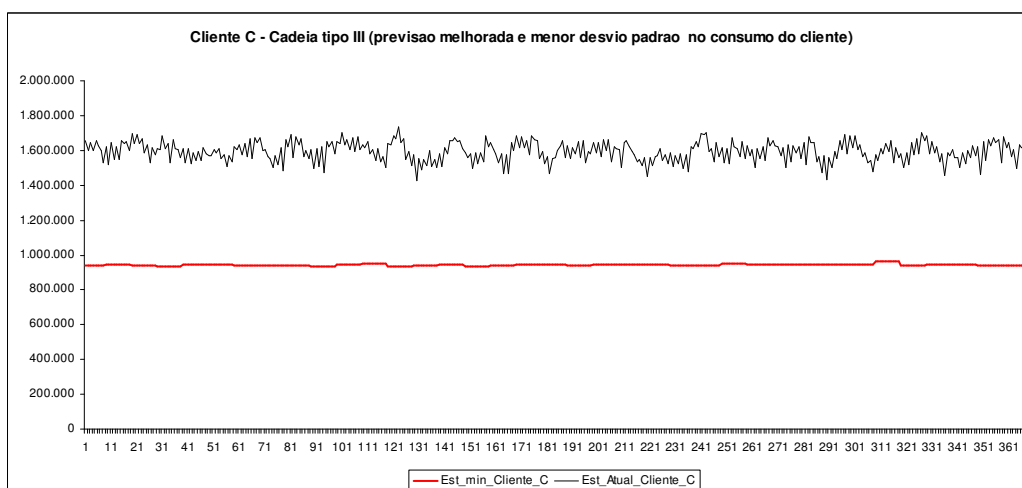
**Figura 109 - Estoque do produto B no cliente para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente**



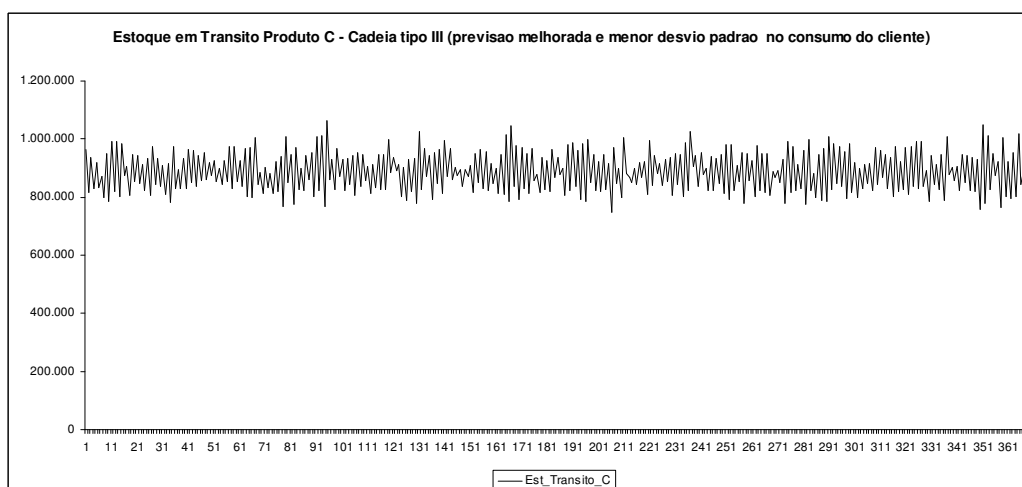
**Figura 110 - Estoque em trânsito do produto B para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente**



**Figura 111 - Estoque do produto C no fornecedor para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente**



**Figura 112 - Estoque do produto C no cliente para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente**



**Figura 113 - Estoque em trânsito do produto C para cadeia tipo III com previsão melhorada e menor desvio no consumo do cliente**