

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**Análise do impacto potencial da aplicação dos
princípios da mentalidade enxuta nos indicadores
de desempenho da cadeia de suprimentos da
construção civil a partir de simulação**

Patricia Stella Pucharelli Fontanini

Campinas, SP

2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**Análise do impacto potencial da aplicação dos
princípios da mentalidade enxuta nos indicadores
de desempenho da cadeia de suprimentos da
construção civil a partir de simulação**

Patricia Stella Pucharelli Fontanini

Orientador: Prof. Dr. Flávio Augusto Picchi

Tese de Doutorado apresentada à
Comissão de pós-graduação da
Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo de
Universidade Estadual de
Campinas, como parte dos
requisitos para obtenção do título
de Doutora em Engenharia Civil, na
Área de Arquitetura e Construção.

Campinas, SP

2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Fontanini, Patricia Stella Pucharelli

F735a Análise do impacto potencial da aplicação dos princípios da mentalidade enxuta nos indicadores de desempenho da cadeia de suprimentos da construção civil a partir da simulação / Patricia Stella Pucharelli Fontanini. --Campinas, SP: [s.n.], 2009.

Orientador: Flávio Augusto Picchi.

Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Indicadores. 2. Construção civil. 3. Construção - Desempenho. 4. Simulação. I. Picchi, Flávio Augusto . II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Potential impact analysis of the application of lean thinking principles in performance metrics of construction supply chain through simulation

Palavras-chave em Inglês: Directories, Construction civil, Building - Performance , Simulation

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: Ariovaldo Denis Granja, Orlando Fontes Lima Junior, Sheyla Mara Baptista Serra, Eduardo Luis Isatto

Data da defesa: 14/12/2009

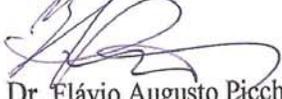
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

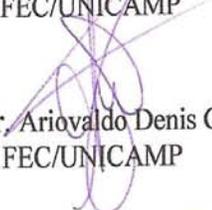
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

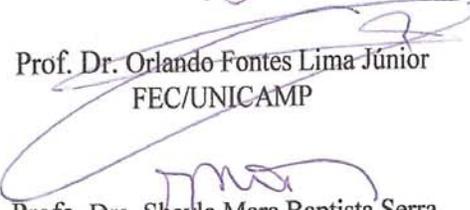
**Análise do impacto potencial da aplicação dos princípios da
mentalidade enxuta nos indicadores de desempenho da cadeia de
suprimentos da construção civil a partir de simulação**

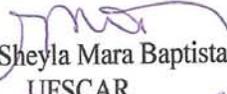
Patricia Stella Pucharelli Fontanini

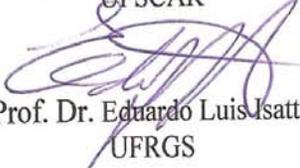
Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:


Prof. Dr. Flávio Augusto Picchi
Presidente e Orientador
FEC/UNICAMP


Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja
FEC/UNICAMP


Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Júnior
FEC/UNICAMP


Profa. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra
UFSCAR


Prof. Dr. Eduardo Luis Isatto
UFRGS

Campinas, 14 de Dezembro de 2009.

*À Tercília Maria STELLA Pucharelli (in memoriam)
minha saudosa avó,*

*Nicholas e Estela
meus queridos filhos,*

*Walcir
meu marido,*

*Carlos e Lenice
meus pais,*

*Paulo
meu irmão,*

*E a Deus
sempre ao meu lado.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor Flávio Augusto Picchi, pela orientação, dedicação, amizade, ensinamentos e pelos incentivos dados no decorrer do desenvolvimento deste árduo trabalho, responsável também por importantes ensinamentos durante os estudos, além de uma grande e importante referência em minha formação acadêmica, ao longo destes oito anos de estudo (mestrado e doutorado);

Aos professores da UNICAMP, pela contribuição dada na minha formação acadêmica, em especial aos professores, Doris Catharine Cornelie Knatz Kowaltowski, pelo grande incentivo e pelas importantes lições concedidas para minha formação pessoal e acadêmica e, Ariovaldo Denis Granja; Orlando Fontes Lima Junior, Vanessa Gomes da Silva, Lucila Chebel Labaki, Marina Sangoi de Oliveira Ilha, Silvia Mikami, Nubia Bernardi, Daniel de Carvalho Moreira, Evandro Ziggiatti Monteiro, Regina Coeli Ruschel pelo incentivo e amizade;

À Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, responsável pelos recursos da Bolsa de Doutorado, que propiciaram minha participação nesse curso de pós-graduação (2007 à 2009);

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, responsável por partes dos recursos da Bolsa de Doutorado, que propiciaram minha participação nesse curso de pós-graduação (2005);

À Financiadora de Estudo e Projetos, FINEP, responsável pelos recursos adicionais que propiciaram minha participação em eventos e congressos da área de Gestão e Tecnologia da construção (GT);

Ao LALT (Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes da Engenharia Civil – Unicamp), em especial ao Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Júnior e ao doutorando Sérgio Adriano Loureiro pelo apoio técnico;

Ao GRUPO SAINT-GOBAIN, as empresas Telhanorte e Weber Quartzolit, que contribuíram com os dados e informações para a realização de parte desta pesquisa, em especial ao Elmar Campos da Costa, Gerente Executivo Sênior do World Class Manufacturing da *Saint Gobain*;

À Fábrica de pré-moldados MUNTE, e em especial ao Alex Tort Folch, diretor executivo da empresa, pelo apoio e pelas informações disponibilizadas;

À Fábrica de pisos cerâmicos BUSCHINELLI, em especial ao Prof. Marcel Oda, *plant manager*, pelo apoio e informações disponibilizadas;

Aos funcionários da FEC/UNICAMP, pela presteza e dedicação ao programa, em especial à Paula e ao Miguel;

Aos colegas da pós-graduação, Alexandre, Tathiana Reis, Tatiana Borges, Nathalie, Ana, Joyce, Laís, Carlos, Márcia, Lia, Rafaela, Dina, Raquel, Iamara e Marcus, pela simpatia e pelos momentos agradáveis que compartilhamos no decorrer do curso;

Aos meus queridos filhos Nicholas e Estela, ao meu marido Walcir, meus pais Carlos e Lenice, e ao meu irmão Paulo pelo amor, compreensão e carinho em todos os momentos da minha vida;

Os meus queridos amigos e amigas, minha família, à minha Franchesca que ao longo destes anos de doutorado, mestrado e graduação, me deram o suporte necessário para continuar a minha jornada. Agradeço meus fiéis amigos Flávia, Lilian, Vanessa, Maria Elisa, Silvia e Eric, Rogério, Aldo, Carlos Eduardo (primo), Lúcia, André, e em especial, a minha especial amiga, Monica.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XV
LISTA DE QUADROS	XX
RESUMO.....	XXI
ABSTRACT	XXII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVOS DE PESQUISA.....	6
1.3 DELIMITAÇÕES DOS ESTUDOS	7
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 CONCEITOS GERAIS DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS	8
2.1.1 DEFINIÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	8
2.1.2 ESTRUTURA DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	10
2.1.3 FLUXO DE INFORMAÇÕES NA CADEIA DE SUPRIMENTOS	12
2.1.4 ESTRATÉGIAS DAS CADEIAS DE SUPRIMENTOS	12
2.1.5 GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS E GESTÃO LOGÍSTICA.....	13
2.1.6 GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS E EFEITO CHICOTE	15
2.1.7 CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	16
2.2 LEAN THINKING E CADEIAS DE SUPRIMENTOS	18
2.2.1 PRINCÍPIOS DO LEAN THINKING.....	20
2.2.1.1 DEFINIÇÃO DE VALOR.....	20
2.2.1.2 FLUXO DE VALOR.....	20
2.2.1.3 FLUXO CONTÍNUO	21
2.2.1.4 PRODUÇÃO PUXADA	22
2.2.1.5 PERFEIÇÃO.....	22
2.2.2 MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR (MFV).....	23

2.2.3	SISTEMA PUXADO	25
2.2.3.1	2.2.3.3. MILK RUN NO SISTEMA PUXADO	28
2.2.4	LEAN THINKING APLICADO À CADEIA DE SUPRIMENTOS	29
2.2.5	MACRO MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR (MMFV)	30
2.2.5.1	DESENHO DO MACRO MAPA DO FLUXO DE VALOR (MMFV)	32
2.2.5.2	MACRO MAPA DO ESTADO ATUAL (MMEA)	33
2.2.5.3	MACRO MAPA DO ESTADO FUTURO (MMEF).....	35
2.2.6	MACRO MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR E OS INDICADORES DE DESEMPENHO DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS LEAN.....	37
2.2.6.1	LEAD TIME TOTAL.....	37
2.2.6.2	PORCENTAGEM DE AGREGAÇÃO DE VALOR (TEMPO).....	37
2.2.6.3	PORCENTAGEM DE AGREGAÇÃO DE VALOR (AÇÕES).....	38
2.2.6.4	GIRO DE ESTOQUE.....	38
2.2.6.5	QUADRO DA QUALIDADE	38
2.2.6.6	FALHAS DE ENTREGAS.....	39
2.2.6.7	AMPLIFICAÇÃO DE DEMANDA.....	39
2.2.6.8	DISTÂNCIA PERCORRIDA PELO PRODUTO.....	40
2.2.7	LEAN THINKING APLICADO À CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	41
2.3	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E INDICADORES EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS....	45
2.3.1	INDICADORES DE DESEMPENHO PARA CADEIA DE SUPRIMENTOS EM GERAL.....	48
2.3.1.1	MODELO SCOR DE INDICADORES DE DESEMPENHO	48
2.3.2	MEDIÇÃO DE DESEMPENHO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	50
2.3.2.1	INDICADOR DE SERVIÇO AO CLIENTE	50
2.3.2.2	INDICADOR DE CUSTO.....	54
2.3.2.3	INDICADOR DE PRODUTIVIDADE.....	56
2.3.2.4	INDICADOR DE GERENCIAMENTO DE ESTOQUE	57
2.3.3	INDICADORES SELECIONADOS PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	59
2.3.3.1	INDICADOR DE LEAD TIME (UNIDADE DE MEDIÇÃO: DIAS):	60
2.3.3.2	INDICADOR DE NÍVEL DE SERVIÇO (UNIDADE DE MEDIÇÃO: PORCENTAGEM)	61

2.3.3.3	INDICADOR DE GIRO DE ESTOQUE (UNIDADE DE MEDIÇÃO: NÚMERO DE VEZES DE REPOSIÇÃO DO MATERIAL)	62
2.3.3.4	INDICADOR DE ESTOQUE FÍSICO (UNIDADE DE MEDIÇÃO: UNIDADES MONETÁRIAS E DIAS DE ESTOQUE)	62
2.3.4	INDICADORES COMPLEMENTARES SELECIONADOS	64
2.3.4.1	INDICADOR DE TEMPO DE VALOR AGREGADO (UNIDADE DE MEDIÇÃO: DIAS).	64
2.3.4.2	INDICADOR DE QUALIDADE DA ENTREGA (UNIDADE DE MEDIÇÃO: PORCENTAGEM)	65
2.3.4.3	INDICADOR DE CUSTO TOTAL DO PRODUTO (UNIDADE DE MEDIÇÃO: UNIDADE MONETÁRIA)	66
2.3.4.4	INDICADOR DE OBSOLESCÊNCIA NO ESTOQUE (UNIDADE DE MEDIÇÃO: UNIDADES MONETÁRIAS).....	66
2.3.5	FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	67
2.3.5.1	EFEITO CHICOTE	67
2.3.5.2	FLUXO DE INFORMAÇÃO	69
2.3.5.3	TAMANHO DOS LOTES	71
2.3.5.4	POLÍTICAS E TIPOS DE ESTOQUES	71
2.4	MODELOS DE SIMULAÇÃO.....	74
2.4.1	CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO	74
2.4.1.1	MODELOS DETERMINÍSTICOS.....	74
2.4.1.2	MODELOS ESTOCÁSTICOS	74
2.4.1.3	MODELOS ESTÁTICOS.....	74
2.4.1.4	MODELOS DINÂMICOS	75
2.4.2	CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS QUANTO ÀS MUDANÇAS QUE SOFREM SUAS VARIÁVEIS DE ESTADO	75
2.4.2.1	MODELAGEM PARA SIMULAÇÃO DISCRETA	76
2.5	INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS DE SYSTEMS DYNAMICS.....	79
2.5.1	ORIGEM E FORMALISMO	79
2.5.2	O PROCESSO DE MODELAGEM	80
2.5.3	COMPLEXIDADE E O PAPEL DA SIMULAÇÃO BASEADA EM COMPUTADOR	80

2.6	SIMULAÇÕES APLICADAS ÀS CADEIAS DE SUPRIMENTOS.....	82
2.6.1	MODELAGEM DOS PROCESSOS DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	84
2.6.2	VALIDAÇÃO DO MODELO SIMULAÇÃO	84
2.6.2.1	ETAPA 1 – FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	89
2.6.2.2	ETAPA 2 – COLETA DE INFORMAÇÕES E DADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL	89
2.6.2.3	ETAPA 3 – VERIFICAÇÃO DA VALIDADE DO MODELO CONCEITUAL	90
2.6.2.4	ETAPA 4 - PROGRAMAÇÃO DO MODELO	90
2.6.2.5	ETAPA 5 – VERIFICAÇÃO DO MODELO PROGRAMADO.....	91
2.6.2.6	ETAPA 6 – PROJETO, CONDOTA E ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS.....	91
2.6.2.7	ETAPA 7 – DOCUMENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PRESENTE.	92
2.6.3	TÉCNICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE MODELOS VÁLIDOS.....	92
2.6.3.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	92
2.6.3.2	CONSULTA DE ESPECIALISTAS E COLABORADOR DO SISTEMA	92
2.6.3.3	INTERAÇÃO COM O RESPONSÁVEL PELA TOMADA DE DECISÕES	93
2.6.3.4	TÉCNICAS QUANTITATIVAS PARA VALIDAR OS COMPONENTES DO MODELO	93
2.6.3.5	DOCUMENTAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL	93
2.6.3.6	A EXECUÇÃO DE UM PROCEDIMENTO ESTRUTURADO PARA O MODELO CONCEITUAL.....	94
2.6.3.7	A EXECUÇÃO DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA DETERMINAR FATORES IMPORTANTES DO MODELO	95
2.6.3.8	A VALIDAÇÃO DOS DADOS DE SAÍDA DO MODELO CONCEITUAL.....	95
2.6.3.9	GRÁFICOS E ANIMAÇÕES PARA A APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE SAÍDA	96
2.6.4	SIMULAÇÃO MATEMÁTICA EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS.....	97
2.6.5	SIMULAÇÃO EM CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	98
2.6.5.1	MODELO DE SIMULAÇÃO DESENVOLVIDO NO STROBOSCOPE	98
2.6.5.2	CONCLUSÕES DA SIMULAÇÃO	99
3	MÉTODO DE PESQUISA.....	101
3.1	A ESTRATÉGIA DA PESQUISA	101
3.1.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA	102
3.2	ETAPAS DA PESQUISA	103

3.2.1	PRIMEIRA ETAPA DE PESQUISA DA TESE	103
3.2.1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	103
3.2.1.2	ELABORAÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO.....	103
3.2.1.3	SELEÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO PARA A CADEIA DE SUPRIMENTOS A SEREM ANALISADAS	105
3.2.2	SEGUNDA ETAPA DE PESQUISA DA TESE	107
3.2.2.1	PRIMEIRO ESTUDO DE PRELIMINAR.....	107
3.2.2.2	SEGUNDO ESTUDO DE CASO PRELIMINAR.....	113
3.2.2.3	TERCEIRO ESTUDO DE CASO – ESTUDO DE CASO PRINCIPAL	115
3.2.3	TERCEIRA ETAPA DE PESQUISA DA TESE	120
3.2.3.1	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS DA SIMULAÇÃO	120
4	PRIMEIRO ESTUDO DE CASO PRELIMINAR – CADEIA DE SUPRIMENTOS DE AÇO DOBRADO	121
4.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA A SER INVESTIGADO	122
4.2	COLETA DE INFORMAÇÕES E DADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL	122
4.2.1	FABRICA DE AÇO	123
4.2.2	FABRICA DE ESTRIBOS (AÇO DOBRADOS)	123
4.2.2.1	MAPA DE FLUXO DE VALOR ADMINISTRATIVO DE AQUISIÇÃO E SUPRIMENTO DA FÁBRICA DE ESTRIBOS DE AÇO	124
4.2.2.2	MAPA DE FLUXO DE VALOR DA FÁBRICA DE ESTRIBOS DE AÇO	127
4.2.2	FABRICA DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS.....	131
4.2.2.1	MAPA ADMINISTRATIVO DO FLUXO DE VALOR DO DEPARTAMENTO DE SUPRIMENTOS – ESTADO ATUAL	133
4.2.2.2	MAPA DO FLUXO DE VALOR DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PEÇAS ARMADAS	134
4.2.3	OBRA	138
4.2.3.1	MACRO MAPA DE FLUXO DE VALOR DO ESTADO ATUAL (MMEA)	139
4.3	MODELO E DOCUMENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	142

4.3.1	INDICADORES DE DESEMPENHO PARA A CADEIA DE SUPRIMENTOS DO PRIMEIRO ESTUDO DE CASO	142
4.3.2	MODELAGEM DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE PRÉ-MOLDADOS PARA ESTRIBOS FORNECIDOS DOBRADOS	142
4.3.2.1	CENÁRIO ATUAL	143
4.4	DISCUSSÃO.....	146
5	SEGUNDO ESTUDO DE CASO PRELIMINAR– CADEIA DE SUPRIMENTOS DE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA	148
5.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA A SER INVESTIGADO	149
5.2	COLETA DE INFORMAÇÕES	150
5.2.1	AGENTES	150
5.2.1.1	FABRICANTE DE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA.....	150
5.2.1.2	CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	153
5.2.1.3	ARGAMASSA E O CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO	155
5.3	DISCUSSÃO.....	158
6	TERCEIRO ESTUDO DE CASO – CADEIA DE SUPRIMENTOS DE PISO CERÂMICO.....	159
6.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA A SER INVESTIGADO	162
6.2	COLETA DE INFORMAÇÕES	162
6.2.1	AGENTES DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE PISO CERÂMICO	164
6.2.1.1	EXTRATORA DE ARGILA BRUTA	164
6.2.1.2	MOEDORA DE ARGILA	164
6.2.1.3	FÁBRICA DE PISOS CERÂMICOS.....	164
6.2.1.4	CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DO HOME CENTER	170
6.2.1.5	LOJA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	171
6.2.1.6	CLIENTE FINAL	172
6.2.1.7	RESUMO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS TOTAL	172
6.3	PROGRAMAÇÃO DO MODELO	174
6.3.1	DEFINIÇÃO DO SOFTWARE A SER UTILIZADO PARA A MODELAGEM	174
6.3.2	DEFINIÇÃO DO FLUXO DE INFORMAÇÕES	176

6.3.2.1	DEMANDA ADOTADA	176
6.3.3	DEFINIÇÃO DOS INDICADORES	178
6.4	APLICABILIDADE DO MODELO DO ESTADO ATUAL.....	184
6.5	PROJETO DOS MODELOS A SEREM SIMULADOS.....	189
6.6	RESULTADOS OBTIDOS DA SIMULAÇÃO	192
6.6.1	SISTEMA EMPURRADO – EMPURRADO – MODELO #1.....	193
6.6.1.1	ANÁLISE DE RESULTADOS MODELO EE -EE	198
6.6.1.2	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO MODELO #1.....	202
6.6.2	SISTEMA PUXADO – EMPURRADO – MODELO #2	204
6.6.2.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS	209
6.6.2.2	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	212
6.6.3	SISTEMA EMPURRADO – PUXADO – MODELO #3	213
6.6.3.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS	217
6.6.3.2	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO MODELO #3.....	220
6.6.4	SISTEMA PUXADO – PUXADO – MODELO #4	222
6.6.4.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS	228
6.6.4.2	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO MODELO #4.....	231
6.7	DISCUSSÃO FINAL DOS RESULTADOS.....	232
7	CONCLUSÃO	236
7.1	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	236
7.2	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DA TESE.....	238
7.3	RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	239
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	240
	APÊNDICES	250
	APÊNDICE I: ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA COM OS AGENTES	251
	APÊNDICE II: MODELOS NO STELLA.....	267
	ANEXOS.....	295

ANEXO A: LEGENDAS UTILIZADAS PARA O MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR.....297

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	CADEIA DE SUPRIMENTOS (LAMBERT; COOPER, 2000).....	11
FIGURA 2.2	REPRESENTAÇÃO DO FLUXO EMPURRADO NA PRODUÇÃO (LÉXICO LEAN, 2003).....	21
FIGURA 2.3	REPRESENTAÇÃO DO FLUXO CONTÍNUO NA PRODUÇÃO (LÉXICO LEAN, 2003)	22
FIGURA 2.4	EXEMPLO DE MAPA DE FLUXO DE VALOR DO ESTADO ATUAL DE UMA PRODUÇÃO EM MASSA (LÉXICO LEAN, 2003)	24
FIGURA 2.5	EXEMPLO DE MAPA DE FLUXO DE VALOR DO ESTADO FUTURO DE UMA PRODUÇÃO EM MASSA (LÉXICO LEAN, 2003).....	25
FIGURA 2.6	EXEMPLO DE KANBAN DE PRODUÇÃO DE RETIRADA (LÉXICO LEAN, 2003).....	26
FIGURA 2.7	EXEMPLO DE KANBAN DE SINALIZAÇÃO E RETIRADA (LÉXICO LEAN, 2003).....	26
FIGURA 2.8	EXEMPLO DE TRANSPORTE.....	28
FIGURA 2.9	TRANSPORTE COM A APLICAÇÃO DE MILK RUN (LÉXICO LEAN, 2003)	29
FIGURA 2.10	MODELO SCOR 7.0, FONTE: SUPPLY-CHAIN COUNCIL (2005)	49
FIGURA 2.11	RECOMENDAÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO (LAW, 2005).....	85
FIGURA 2.12	PROCESSO DE VALIDAÇÃO DA SIMULAÇÃO (LAW, 2005)	88
FIGURA 3.1	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	102
FIGURA 3.2	ETAPAS DE PESQUISA DA PRIMEIRA ETAPA DA TESE	103
FIGURA 3.3	LEAD TIME TOTAL	105
FIGURA 3.4	NIVEL DE SERVIÇO	105
FIGURA 3.5	GIRO DE ESTOQUE	106
FIGURA 3.6	ESTOQUE FÍSICO	106
FIGURA 3.7	ETAPAS DE PESQUISA DO PRIMEIRO ESTUDO PRELIMINAR.....	108
FIGURA 3.8	ETAPAS DE PESQUISA DO SEGUNDO ESTUDO PRELIMINAR.....	114
FIGURA 3.9	ETAPAS DE PESQUISA DO ESTUDO DE CASO PRINCIPAL	115
FIGURA 4.1	METODOLOGIA PARA O ESTUDO DE CASO PRELIMINAR	121

FIGURA 4.2	CADEIA DE SUPRIMENTOS DE AÇO.....	122
FIGURA 4.3	MAPA ADMINISTRATIVO DE FLUXO DE VALOR PARA A PRODUÇÃO DE ESTRIBOS	126
FIGURA 4.4	ESTRIBOS FABRICADOS NA FÁBRICA DE ESTRIBOS – ANHANGUERA	128
FIGURA 4.5	MAPA DO FLUXO DE VALOR PARA A PRODUÇÃO DE ESTRIBOS NA FABRICA	130
FIGURA 4.6	FÁBRICA DE ITAPEVI (SP)	131
FIGURA 4.7	MAPA ADMINISTRATIVO DO FLUXO DE INFORMAÇÕES PARA A AQUISIÇÃO DE AÇO DOBRADO	134
FIGURA 4.8	EXEMPLO DE UMA VIGA ARMADA CONCRETADA.....	135
FIGURA 4.9	MAPA DO FLUXO DE VALOR DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PEÇAS ARMADAS ...	137
FIGURA 4.10	EXEMPLO DA MONTAGEM DE UMA VIGA ARMADA EM OBRA	138
FIGURA 4.11	EXEMPLO DA MONTAGEM DE ESTRUTURA DE SUPERMERCADOS.....	139
FIGURA 4.12	MACRO MAPA DE FLUXO DE VALOR PARA A CADEIA DE SUPRIMENTOS ESTRIBOS.	141
FIGURA 4.13	PRIMEIRA MODELAGEM DE DADOS PARA A CADEIA DE SUPRIMENTOS DO CENÁRIO ATUAL DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE AÇO	145
FIGURA 5.1	AGENTES PARTICIPANTES DO SEGUNDO ESTUDO DE CASO	149
FIGURA 5.2	MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS FÁBRICAS E CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO (LEAN SUMMIT, 2008).	151
FIGURA 5.3	MAPA DAS IMPLEMENTAÇÕES LEAN DA EMPRESA WEBER QUARTZOLIT BRASIL.	152
FIGURA 5.4	FOTO AÉREA DO CENTRO LOGÍSTICO DE DISTRIBUIÇÃO EM JUNDIAÍ (SP).	154
FIGURA 5.5	LAY-OUT DO CENTRO LOGÍSTICO DE DISTRIBUIÇÃO DE JUNDIAÍ (SP).....	154
FIGURA 5.6	LAY-OUT DO POSICIONAMENTO DAS ARGAMASSAS NO GALPÃO PRINCIPAL	156
FIGURA 6.1	AGENTES DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE PISO CERÂMICO E CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO	160
FIGURA 6.2	AGENTES DA CADEIA DE SUPRIMENTOS SELECIONADOS PARA A SIMULAÇÃO	160
FIGURA 6.3	METODOLOGIA DE PESQUISA PARA O SEGUNDO ESTUDO DE CASO.....	161
FIGURA 6.4	ESQUEMA DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE PISO CERÂMICO TIPO “ALABAMA” (50X50)CM NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE PISOS CERÂMICOS	163

FIGURA 6.5	PROCESSO PRODUTIVO DA FÁBRICA DE PISOS CERÂMICOS	165
FIGURA 6.6	DESCARREGAMENTO DA ARGILA	166
FIGURA 6.7	ESTOQUES EM PROCESSO	168
FIGURA 6.8	ESTOQUES DE PRODUTOS ACABADOS EXTERNO	169
FIGURA 6.9	ESTOQUES DE PRODUTOS ACABADOS INTERNO.....	169
FIGURA 6.10	EMBARQUE DOS PISOS PARA O HOME CENTER (LOJA)	170
FIGURA 6.11	LOJA DE MATERIAIS EM CAMPINAS – SP.	171
FIGURA 6.12	CADEIA DE SUPRIMENTOS DE PISO CERÂMICO DA FÁBRICA DE PISOS CERÂMICOS	173
FIGURA 6.13	AGENTES DA CADEIA DE PISOS CERÂMICOS CONSIDERADOS	174
FIGURA 6.14	PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO MODELO E PROCESSO DE APRENDIZAGEM SUGERIDO PELO STELLA SOFTWARE	175
FIGURA 6.15	DEMANDA SEMANAL ADOTADA	176
FIGURA 6.16	DEMANDA MENSAL ADOTADA	177
FIGURA 6.17	DEMANDA SEMESTRAL DA LOJA.....	177
FIGURA 6.18	DEMANDA SEMESTRAL ADOTADA NO STELLA.....	178
FIGURA 6.19	DESENHO ESQUEMÁTICO DO INTERVALO DE PEDIDO (IP)E TEMPO DE REPOSIÇÃO (TR) ENTRE AGENTES.....	180
FIGURA 6.20	ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO INTERVALO DE PEDIDO (IP) E TEMPO DE REPOSIÇÃO (TR)	181
FIGURA 6.21	CÁLCULO DO PONTO DE PEDIDO PARA OS MODELOS COM A APLICAÇÃO DA FERRAMENTA KANBAN	183
FIGURA 6.22	REPRESENTAÇÃO DO CÁLCULO DO PEDIDO NO MODELO PROPOSTO NO SOFTWARE STELLA	183
FIGURA 6.23	DESVIO PADRÃO ADOTADO PARA A MODELAGEM DO PONTO DE PEDIDO	184
FIGURA 6.24	ESTOQUE DE SEGURANÇA ADOTADO	184
FIGURA 6.25	DESENHO ESQUEMÁTICO DOS DADOS ADOTADOS NA SIMULAÇÃO DOS MODELOS DO STELLA	185
FIGURA 6.26	DEMANDA DO CLIENTE X PEDIDOS DA LOJA.....	186

FIGURA 6.27	INDICADORES OBTIDOS PARA O ESTADO ATUAL DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE PISO CERÂMICO	186
FIGURA 6.28	PEDIDOS ENTREGUES PELO LOJA X PEDIDOS ENTREGUES PELO CD X DEMANDA DO CLIENTE	187
FIGURA 6.29	EXEMPLO DE PLANILHAS OBTIDAS DO STELLA.....	188
FIGURA 6.30	EXEMPLO DA NOMENCLATURA ADOTADA PARA CADA UM DOS MODELOS TESTADOS	191
FIGURA 6.31	ESQUEMA DOS CENÁRIOS ELABORADOS PARA O MODELO # 1 EMPURRADO-EMPURRADO	195
FIGURA 6.32	NIVEL DE ESTOQUE PARA O MODELO #1.....	199
FIGURA 6.33	GIRO DE ESTOQUE PARA O MODELO #1.....	199
FIGURA 6.34	LEAD PARA O MODELO #1.....	200
FIGURA 6.35	ESTOQUES INDIVIDUAIS PARA O MODELO #1	200
FIGURA 6.36	ESQUEMA DOS CENÁRIOS ELABORADOS PARA O MODELO # 2 PUXADO - EMPURRADO	206
FIGURA 6.37	NIVEL DE ESTOQUE PARA O MODELO #2.....	210
FIGURA 6.38	GIRO DE ESTOQUE PARA O MODELO #2.....	211
FIGURA 6.39	LEAD TIME PARA O MODELO #2	211
FIGURA 6.40	ESTOQUES INDIVIDUAIS PARA O MODELO #2	212
FIGURA 6.41	ESQUEMA DOS CENÁRIOS ELABORADOS PARA O MODELO # 3 EMPURRADO-PUXADO	215
FIGURA 6.42	NIVEL DE SERVIÇO PARA O MODELO #3	218
FIGURA 6.43	GIRO DE ESTOQUE PARA O MODELO #3.....	219
FIGURA 6.44	LEAD TIME PARA O MODELO #3	219
FIGURA 6.45	ESTOQUES INDIVIDUAIS PARA O MODELO #3	220
FIGURA 6.46	ESQUEMA DOS CENÁRIOS ELABORADOS PARA O MODELO # 4 PUXADO-PUXADO ..	225
FIGURA 6.47	NIVEL DE SERVIÇO PARA O MODELO #4	229
FIGURA 6.48	GIRO DE ESTOQUE PARA O MODELO #4.....	229

FIGURA 6.49	LEAD TIME PARA O MODELO #4	230
FIGURA 6.50	ESTOQUES INDIVIDUAIS PARA O MODELO #4	230

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 MEDIÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS SUGERIDA POR WOMACK E JONES (2004) NO MMFV.	40
QUADRO 2.2 INDICADORES DE SERVIÇO AO CLIENTE, ADAPTADO DE HIJJAR, GERVÁRSIO E FIGUEIREDO (2005)	52
QUADRO 2.3 INDICADORES DE SERVIÇO AO CLIENTE, ADAPTADO DE HIJJAR, GERVÁRSIO E FIGUEIREDO (2005)	53
QUADRO 2.4 INDICADORES DE CUSTO, ADAPTADO DE HIJJAR, GERVÁRSIO E FIGUEIREDO (2005)	55
QUADRO 2.5 INDICADORES DE PRODUTIVIDADE, ADAPTADO DE HIJJAR, GERVÁRSIO E FIGUEIREDO (2005)	56
QUADRO 2.6 INDICADORES DE ESTOQUES, ADAPTADO DE HIJJAR, GERVÁRSIO E FIGUEIREDO (2005)...	57
QUADRO 2.7 INDICADORES E O EFEITO CHICOTE (CHOPRA; MEINDL, 2003)	67
QUADRO 6.1 INDICADORES ADOTADOS NO MODELO	179
QUADRO 6.2 TABELA DA RELAÇÃO DA FREQUÊNCIA E INTERVALO DE PEDIDO E TAMANHO DO LOTE UTILIZADO NA MODELAGEM	182
QUADRO 6.3 MODELOS PROPOSTOS PARA A SIMULAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE PISOS CERÂMICOS	189
QUADRO 6.4 FERRAMENTAS LEAN E CONCEITOS PARA A COMPOSIÇÃO DO ESTADO FUTURO	190
QUADRO 6.5 MODELO #1 - CENÁRIOS	196
QUADRO 6.6 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PARA O MODELO #1	197
QUADRO 6.7 MODELO#2 - CENÁRIOS	207
QUADRO 6.8 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PARA O MODELO #2	209
QUADRO 6.9 MODELO #3 - CENÁRIOS	216
QUADRO 6.10 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PARA O MODELO #3	217
QUADRO 6.11 MODELO #4 - CENÁRIOS	226
QUADRO 6.12 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PARA O MODELO #4	227

RESUMO

FONTANINI, Patricia Stella Pucharelli – Análise do impacto potencial da aplicação dos princípios da Mentalidade Enxuta nos indicadores de desempenho da cadeia de suprimentos da construção civil - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2009, Tese de Doutorado.

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o impacto potencial da aplicação dos princípios da mentalidade enxuta nas cadeias de suprimentos na construção civil. A estratégia de pesquisa adotada foi o estudo de caso, sendo realizados três estudos empíricos: dois estudos de caso preliminares realizados em cadeias de suprimentos de aço e argamassa industrializada, e um estudo de caso principal, realizado na cadeia de pisos cerâmicos, no qual também se aplicou outra estratégia de pesquisa: a simulação. Para a simulação, foram elaborados quatro modelos para a avaliação do desempenho da cadeia. Estas modelagens contemplaram indicadores definidos na revisão bibliográfica. Entre os resultados da pesquisa destacam-se (a) avaliação do desempenho da ferramenta *Lean (kanban)* em diversos pontos da cadeia, (b) criação de modelos sistemáticos e genéricos que possibilitem sua aplicação em outras cadeias de suprimentos e (c) avaliação do potencial de aplicação da ferramenta no contexto das cadeias de suprimentos do setor de construção civil, em função dos indicadores escolhidos.

Palavras-chaves: indicadores, construção civil, construção – desempenho, simulação.

ABSTRACT

FONTANINI, Patricia Stella Pucharelli – Analysis of the potential impact of the application of the *Lean* principles in performance metrics in construction *supply chain* - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2006, Doctoral Thesis.

This research has as main objective to evaluate the potencial impact of the application of Lean principles in construction supply chain. The strategy adopted in this research was the case study, being carried through three empirical studies: two preliminary studies in supply chain of pre-cast elements and industrialized mortar, and a main case study in ceramic supply chain. Another research strategy was applied: the mathematical simulation. For this simulation, four models had been elaborated. These models used indicators defined in the literature revision. Some results of this research are: (a) evaluation of the performance of the Lean tool (kanban) in many points of supply chain, (b) creation of systematic and generic models to possible to be applied in other supply chain and (c) evaluation of the potential of application of the tool in the context of the construction supply chain.

Key words: directories, construction civil, building-performance, simulation

1 INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo são apresentadas as justificativas desta pesquisa de doutorado e os seus principais objetivos, a estrutura de trabalho sugerida para a obtenção dos resultados que serão discutidos adiante, e as limitações encontradas no decorrer deste estudo.

1.1 JUSTIFICATIVA

A globalização econômica tem promovido grandes transformações na economia mundial e exemplos dos reflexos destas transformações podem ser resumidos em: aumento da competitividade, introdução de novas tecnologias gerenciais e mudança comportamental do mercado consumidor, que se mostra cada vez mais exigente e informada (CHING, 1999).

Decorrente desse novo cenário mundial, um novo posicionamento foi exigido das empresas dispostas a permanecerem no mercado competitivo, e um dos grandes paradigmas indicados para a sobrevivência neste novo cenário tem sido a compreensão sistêmica da cadeia de suprimentos como um todo e a sua otimização.

Atualmente, o gerenciamento da cadeia de suprimentos é considerado pelos especialistas como um fator estratégico para aumentar a eficácia organizacional, além de se mostrar um instrumento pertinente para a realização dos objetivos da organização, tais como: aumento de lucratividade e atendimento aos requisitos dos clientes (GUNASEKARAN; PATEL; TIRTIROGLU, 2001).

As empresas não podem mais competir isoladamente dos fornecedores e de suas cadeias de suprimentos. O interesse pelo entendimento do gerenciamento da cadeia de suprimentos tem aumentado desde a década de 80, quando as companhias viram os benefícios de relacionamentos colaborativos dentro e fora da organização (TOWILL, 1996).

Diversas iniciativas sistêmicas indicaram vantagens competitivas quando as empresas observaram a importância de integrar a cadeia de suprimentos com a estratégia de negócio da empresa (LUMMUS; VOKURKA, 1999).

As empresas que investiram no desenvolvimento da cadeia de suprimentos constataram inúmeros benefícios, que contemplaram, não somente reduções de investimento com inventários, mas também a redução do tempo de ciclo dos produtos, a redução nos custos de aquisição de materiais, o aumento na produtividade dos funcionários, a melhoria na habilidade de atender aos requisitos e datas dos clientes e a redução dos custos logísticos.

Neste novo cenário global, as empresas desenvolvem suas cadeias de suprimentos e seu planejamento logístico para melhor controlarem suas operações internas. A partir desta preocupação, surge a necessidade de se enxergar a evolução de suas iniciativas e o impacto das relações entre os agentes da cadeia de suprimentos. Muitos autores enfatizam a necessidade de se observar a evolução das cadeias, e de se quantificar suas melhorias. Dentre eles, Gunasekaran, Patel e Tirtiroglu (2001), argumentam que é necessário avaliar o desempenho das empresas, analisando constantemente o desempenho da cadeia de suprimentos. Mas, vale ressaltar que esta tarefa nem sempre é facilitada, decorrente da ausência de diretrizes consagradas para se definir e analisar o desempenho de uma cadeia de suprimentos globalmente.

Atualmente, um dos principais focos dos estudos em cadeia de suprimentos tem sido a compreensão do paradigma da mentalidade enxuta ou *Lean thinking* aplicado ao sistema de agentes, onde o objetivo principal é a viabilização dos conceitos *Lean* na estrutura logística da cadeia de suprimentos. Os princípios da mentalidade enxuta atendem às exigências do contexto atual, além de ter como ponto de partida a eliminação de desperdícios, incluindo desde estoques de matéria-prima, de material em processamento até o produto acabado entregue ao cliente (WOMACK; JONES, 2004).

A aplicação dos princípios *Lean* na cadeia de suprimentos, resumidamente, contempla: o trabalho com pequenos lotes entre os agentes (*just-in-time*),

criação de células de trabalho, a implantação de processos puxados, e a eliminação de atividades que não agregam valor ao produto final.

Com a adoção de todas ou de algumas destas ações isoladas, espera-se alcançar impactos na cadeia de suprimentos de forma a torná-la mais flexível e eficiente, de forma a absorver as alterações de demandas rapidamente, e atender ao mercado da melhor forma possível (GOLDSBY; MARTICHENKO, 2006).

Para o setor da construção civil, a aplicação dos conceitos da mentalidade enxuta é estudada pelo grupo de pesquisadores do IGLC - *International Group of Lean Construction*. Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas por este grupo, tanto no Brasil quanto no exterior (VRIJHOEF, 1998; O'BRIEN, 1999; ARBULU; TOMMELEIN, 2002; AZAMBUJA, 2002; ISATTO, 2005; ALVES; TOMMELEIN, 2007; FONTANINI; PICCHI, 2004, PICCHI; GRANJA, 2004).

Dentro deste contexto, vários trabalhos apresentaram adaptações de modelos conceituais e teóricos desenvolvidos para diversas cadeias de suprimentos do setor da construção civil (O'BRIEN, 1995; VRIJHOEF, 1998; O'BRIEN, 1999; VRIJHOEF, 2001; WOMACK; JONES, 2004, ISATTO, 2005; FONTANINI; PICCHI, 2004; ALVES, 2007; ALVES; TOMMELEIN, 2007), a partir das diretrizes traçadas pelos autores Womack e Jones (2004).

Apesar dos diversos estudos para a compreensão e implementação da mentalidade enxuta na cadeia de suprimentos da construção civil através da aplicação de princípios da mentalidade enxuta, percebem-se ainda poucos avanços, considerando-se a complexidade das cadeias de suprimentos investigadas. Este resultado é decorrente da complexidade de se aplicar ferramentas *Lean* em todos os agentes.

As cadeias de suprimentos da indústria da construção civil são caracterizadas como complexas e pulverizadas (em função da quantidade de componentes e materiais envolvidos para a realização de uma obra). Para se gerenciar prazos, pedidos de entrega e planejamento propostos nos empreendimentos, é necessária a utilização de sistemas de informação para o gerenciamento de pedidos e entregas.

Entretanto, os sistemas de informação entre agentes ainda se apresentam deficientes (OLIVEIRA; CARVALHO, 2004), o que acarreta nas grandes oscilações de pedidos e entregas, atrasos, interrupções nos fluxos de trabalho, tempos improdutivos elevados e grandes estoques de produtos intermediários, convergindo para um *Lead time* elevado na cadeia de suprimentos como um todo, que pode ser resumido no Efeito Chicote (teoria que será detalhada a frente).

Autores estudaram e mapearam as cadeias de suprimentos e seus desperdícios, explicitando os problemas nos fluxos de materiais e informações inerentes ao sistema, tais como: *Lead time* excessivo no processo e o tempo de agregação de valor no produto incompatível com tempo de ciclo requerido para a realização do produto (VRIJHOEF, 1998; AZAMBUJA, 2002; FONTANINI; PICCHI, 2003; FONTANINI, 2004).

Estudos recentes (O'BRIEN, 1995; BERTELSEN, 1997; O'BRIEN, 1999; COOPER; SLAGMULDER, 1999; SERRA, 2001; SERRA; FRANCO, 2001; VRIJHOEF, 2001; ARBULU; TOMMELEIN, 2002; AZAMBUJA, 2002; FONTANINI; PICCHI, 2004; ALVES; TOMMELEIN, 2007) indicam a necessidade de se estabelecer parcerias entre os agentes e fornecedores do sistema e de se implementar fluxos de informação mais enxutos para minimizar os desperdícios ao longo do sistema.

Além da importância da cadeia de suprimentos para o aumento da competitividade neste cenário globalizado, também é necessário destacar a necessidade do acompanhamento das melhorias propostas, tais como, a implementação de ferramentas *Lean*. E é neste contexto, que surge a necessidade de se estabelecer indicadores de desempenho para ilustrar o cenário, que periodicamente, exige avaliações de desempenho.

Lee e Billington (1992) chamam a atenção para esta lacuna do conhecimento que existe na medição de desempenho das cadeias de suprimentos. Os pesquisadores apontam a grande necessidade de se estudar métricas de desempenho da cadeia por duas razões principais;

- Não existe uma definição de métricas balanceadas. Enquanto empresas se concentram em medidas financeiras, outras empresas se concentram em medidas operacionais. A falta de adequação equilibrada faz com que não exista um retrato equilibrado do desempenho organizacional, nem da empresa e nem da cadeia;
- Falta uma distinção das métricas de cadeias de suprimentos a nível estratégico, tático e operacional.

Lambert e Pohlen (2001) relatam que muitas companhias têm diversos problemas no fluxo de informação que impedem uma medição eficaz do desempenho de suas cadeias de suprimentos. Os autores atentam para o fato de que estas medidas são meramente medidas de logística interna, e não conseguem refletir a complexidade das relações dos agentes da cadeia de suprimentos como um todo. Para Lambert e Pohlen (2001), muitas métricas de cadeia de suprimentos medidas são derivadas de operações internas logísticas que não refletem o desempenho do gerenciamento de cadeia de suprimentos.

Baseado neste cenário, esta pesquisa de doutorado se propõe a contribuir para os estudos de aplicação dos princípios da mentalidade enxuta em cadeias de suprimentos na construção civil e avaliar o seu impacto potencial nos indicadores de desempenho da cadeia de suprimentos.

Optou-se por utilizar como metodologia suplementar do estudo de caso a simulação computacional, pela dificuldade encontrada em implementar as ações sugeridas pela filosofia *Lean thinking* em todos os agentes da cadeia de suprimentos. No ambiente de simulação é possível simular o impacto da implementação *Lean*, tais como, redução de lotes, diminuição de *Lead times* de produção e do fluxo de informação do pedido, redução de estoques (matéria-prima, segurança e estoque máximo), de forma geral e na cadeia de suprimentos como um todo, além de permitir a avaliação do comportamento dos agentes em inúmeros cenários.

Os modelos de simulação têm sido utilizados para se estudar os diferentes aspectos da cadeia de suprimentos, tais como: a estabilidade (BHASKARAN,

1998), efeitos de desempenho dos fatores operacionais (BEAMON; CHEN, 2001) e efeitos de amplificação de demanda. A utilização de modelos viabiliza possíveis implementações na cadeia de suprimentos, e possibilita a visualização pelos agentes da importância da aplicação de ferramentas *Lean* para a redução de desperdícios e otimização de processos produtivos no sistema de suprimento de materiais e produtos.

Esta tese de doutorado destaca a importância de utilizar este arcabouço intelectual e dar continuidade aos estudos prévios de aplicação dos princípios da mentalidade em cadeia de suprimentos, simular e analisar os efeitos de implementação, e tentar preencher a lacuna, citada anteriormente, sugerindo indicadores de desempenho eficientes para facilitar os estudos de cadeias de suprimentos da construção civil.

1.2 OBJETIVOS DE PESQUISA

O objetivo principal desta pesquisa de doutorado é avaliar o impacto potencial da implementação dos princípios da mentalidade enxuta, a partir da modelagem matemática e simulação do comportamento dos agentes na cadeia de suprimentos. Além do objetivo geral, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- Propor, baseado no levantamento bibliográfico, indicadores para a avaliação de desempenho da cadeia de suprimentos.
- Estabelecer, a partir do levantamento bibliográfico, um cenário com a aplicação dos conceitos *lean* selecionado, em particular o sistema puxado entre agentes (KK-KK) em uma cadeia de suprimentos da construção, que sirva como referência para a avaliação do potencial de resultados.
- Propor modelos de simulação que possibilitem projetar variações potenciais nos indicadores decorrentes da aplicação de ferramentas *Lean*.

1.3 DELIMITAÇÕES DOS ESTUDOS

Esta pesquisa de doutorado realizou uma avaliação dos impactos potenciais da implementação *Lean* nos indicadores de desempenho selecionados para a cadeia de suprimentos na construção civil. Estes indicadores foram selecionados e utilizados na modelagem da simulação.

Uma limitação que merece ser indicada é o fato de não se realizar uma avaliação baseada em resultados reais obtidos pela implementação real dos princípios da mentalidade enxuta em uma cadeia do setor da construção civil.

A segunda limitação apresentada que deve ser considerada é a dificuldade na obtenção dos dados para se compor os cenários de simulação, uma vez que as empresas envolvidas nos estudos de caso não possuíam históricos completos dos parâmetros pesquisados.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo apresenta a justificativa da pesquisa de doutorado, seus objetivos da pesquisa, suas limitações, bem como, a estrutura de trabalho. O segundo capítulo apresenta o levantamento bibliográfico realizado, que respaldou a pesquisa. O terceiro capítulo apresenta a metodologia de pesquisa e o método de simulação adotado. O quarto capítulo apresenta o primeiro estudo de caso preliminar em uma cadeia de suprimentos de aço. O quinto capítulo apresenta o segundo estudo de caso exploratório em uma cadeia de suprimentos de argamassa. O sexto capítulo apresenta o terceiro estudo de caso em uma cadeia de suprimentos de pisos cerâmicos. O sétimo capítulo apresenta as conclusões principais e as recomendações de estudos futuros. Apresenta-se também nos apêndices e anexos, informações complementares das pesquisas descritas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os principais temas que compuseram o arcabouço teórico, que serviram como base para o início desta pesquisa. São apresentadas definições de cadeia de suprimentos, indicadores de desempenho, cadeias de suprimentos *Lean* e simulação em cadeias de suprimentos.

2.1 CONCEITOS GERAIS DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS

2.1.1 DEFINIÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

A cadeia de suprimentos pode ser definida como um sistema em que as partes constituintes: fornecedores, facilidades, serviços de distribuição e clientes, estão ligadas através dos fluxos de materiais e informações (STEVENS, 1989). As partes citadas integram um conjunto de atividades realizadas por todos os agentes da cadeia de suprimentos (fornecedores, fabricantes, distribuidores, clientes e usuários). Além das atividades individuais de cada agente, inclui-se efetivamente, as atividades comuns (COPACINO, 1997).

De acordo com Chopra e Meindl (2003), a cadeia de suprimentos engloba todos os estágios envolvidos, direta e indiretamente, no atendimento do pedido do cliente. A cadeia de suprimentos não inclui apenas fabricantes e fornecedores, mas também transportadoras, depósitos, agentes e os próprios clientes. Dentro de cada organização, a cadeia de suprimentos contempla todas as funções envolvidas no pedido do cliente, como desenvolvimento de novos produtos, *marketing*, operações, distribuição, finanças e o serviço de atendimento ao cliente, entre outras.

Para Ballou *et al.* (2000), além das atividades inter-relacionadas dos agentes, a cadeia de suprimentos conta com fluxos de informações associados, desde as fontes de matérias-primas até o consumidor final. Segundo os autores, a cadeia de suprimentos e seu gerenciamento compreendem a integração e a coordenação das atividades e processos ao longo das empresas integrantes da

cadeia, no fluxo de materiais e no fluxo de informações. Na definição de cadeia de suprimentos, o fluxo de informação tem grande relevância, pois é o canal de comunicação que permitirá a cadeia ter ou não uma integração eficiente.

Para que o fluxo de informação ocorra de forma eficiente é necessário o desenvolvimento de diversos fatores entre os agentes da cadeia de suprimentos. Segundo Ballou *et al.* (2000), é imprescindível haver abertura, confiança, compromisso e disposição para compartilhar informações entre os membros de uma cadeia, para que esta funcione como um conjunto de processos interligados. Essa cooperação entre os membros da cadeia tende a reduzir os riscos individuais e melhorar a eficiência do processo logístico, eliminando perdas e esforços desnecessários.

Stevens (1989) destaca também a presença de agentes interligados pelos fluxos de informação e de materiais, e a importância de se considerar os mesmos (fluxos) na compreensão do sistema.

Para Chopra e Meindl (2003), existe uma verdadeira importância em se enumerar todos os estágios envolvidos na cadeia de suprimentos. Womack e Jones (2004) propuseram a identificação das atividades e do estágio envolvido na cadeia de suprimentos a partir do macro mapeamento de fluxo de valor (MMFV).

Adotou-se como definição de cadeia de suprimentos, a definição apresentada por Ballou (2006), cadeia de suprimentos é um conjunto de atividades funcionais (transportes, controle de estoques, etc.) que se repetem inúmeras vezes ao longo do canal pelo qual matérias-primas vão sendo convertidas em produtos acabados, aos quais se agrega valor ao consumidor. Ainda segundo o mesmo autor, uma vez que as fontes de matérias-primas, fábricas e pontos de venda em geral não tem a mesma localização e o canal representa uma seqüência de etapas de produção, as atividades logísticas podem ser repetidas várias vezes até um produto chegar ao mercado.

2.1.2 ESTRUTURA DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

A estrutura de uma cadeia de suprimentos é composta pelos agentes que, de alguma forma, participam do processo produtivo. A dimensão de uma cadeia de suprimentos é definida pela quantidade de integrantes e complexidade dos processos produtivos envolvidos para a realização do produto final. Ao se analisar uma cadeia de suprimentos, todos os agentes têm a mesma importância, sob o ponto de vista da análise e gerenciamento do todo.

Existem diversas classificações dos agentes dentro de uma cadeia de suprimentos. Um exemplo de classificação dos agentes é a classificação sugerida por Lambert *et al.* (1998). Este autor classificou os agentes em membros primários e membros de apoio:

- Os membros primários são os agentes que executam as atividades operacionais e administrativas no sistema. Para dar suporte aos membros primários da cadeia de suprimentos, existem os membros de apoio;
- Membros de apoio são aquelas empresas cuja função é fornecer recursos, conhecimento, utilidades ou ativos para os membros primários. Apesar de desempenharem atividades relevantes dentro da cadeia de suprimentos, estes membros não participam diretamente na realização de atividades de transformação que adicionam valor para o consumidor final.

Exemplos de membros primários são: as fábricas e montadoras, exemplos de membros de apoio são: fornecedores de matéria-prima, fornecedores de serviços especializados.

A partir desta classificação é possível definir o ponto de origem e o ponto de consumo da cadeia de suprimentos. O ponto de origem é determinado quando não há outros fornecedores primários, ou seja, quando aqueles membros anteriores são de apoio. O ponto de consumo é estabelecido quando nenhum

valor a mais é adicionado ao produto, ou seja, quando o produto é efetivamente consumido.

A estrutura de uma cadeia de suprimentos é analisada a partir de uma empresa foco, e suas ligações com outros membros da cadeia. Dessa forma, cada empresa de uma cadeia de suprimentos pertence também a várias outras cadeias, possui sua própria cadeia de suprimentos, sendo que cada cadeia apresenta uma dimensão estrutural específica (ver figura 2.1).

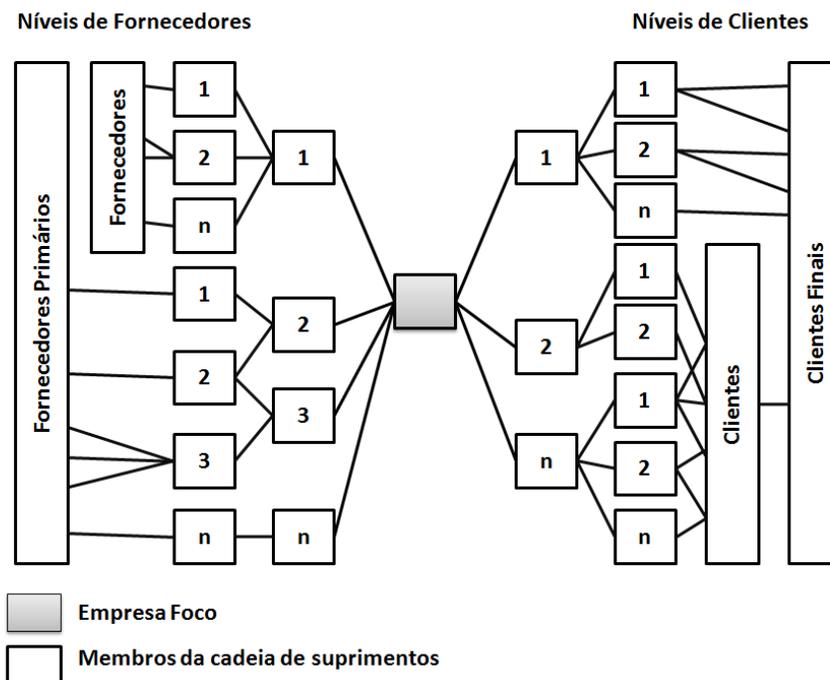


Figura 2.1 Cadeia de Suprimentos (LAMBERT; COOPER, 2000)

Segundo Lambert *et al.* (1998), as dimensões estruturais (camadas de fornecimento) de uma cadeia ou rede são essenciais para descrever, analisar e gerenciar uma cadeia de suprimentos. A estrutura da cadeia de suprimentos baseia-se no grau de importância de cada agente dentro da cadeia. Esta importância está diretamente relacionada com a estrutura organizacional de cada agente na cadeia. Um agente com grande importância organizacional é o agente que estimula o desenvolvimento de seus fornecedores e simultaneamente, consegue fornecer seus produtos para inúmeros clientes da cadeia de suprimentos.

2.1.3 FLUXO DE INFORMAÇÕES NA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Segundo Womack e Jones (2004), a estrutura da cadeia de suprimentos pode ser definida sob o ponto de vista do fluxo de materiais e do fluxo de informação. Os mesmos autores afirmam que a importância da visibilidade da cadeia de suprimentos deve ser mantida em ambos os fluxos. O fluxo de informação também é importante para a integração de informações entre os agentes envolvidos.

Para Chopra e Meindl (2003), quanto mais eficiente for o fluxo de informações em uma cadeia de suprimentos, menor será o estoque necessário para o atendimento da demanda, mas esse fluxo precisa ser diferenciado em duas perspectivas:

- Informações descentralizadas (demanda, estoque, previsões, capacidade, *Lead time*) que fluam na cadeia com a gestão feita entre os elos próximos;
- Informações centralizadas, em um nível superior de gestão, de forma a enxergar a cadeia de suprimentos como um todo.

Segundo Lima (2004), a informação é uma ferramenta importante para o aumento e para a melhoria dos fluxos de informações e materiais. O fluxo de informação deve ser bidirecional entre todas as empresas pertencentes à cadeia.

2.1.4 ESTRATÉGIAS DAS CADEIAS DE SUPRIMENTOS

Inúmeras são as estratégias que podem ser adotadas pelos agentes da cadeia de suprimentos. Mas, independente do objetivo definido, a importância está em se apresentar e compartilhar os objetivos individuais entre todos os agentes, para a composição de um único objetivo, e desta forma possibilitar uma definição da estratégia para o conjunto.

As estratégias adotadas pelas cadeias de suprimentos foram revistas devido às mudanças no ambiente competitivo, conforme já discutido na justificativa desta pesquisa. A competição passa a ser analisada entre cadeias e

não mais entre empresas isoladas. As empresas pertencentes às cadeias de suprimentos são motivadas a terem as suas estratégias alinhadas, de modo que as ações individuais dos agentes produzam ganhos para toda a cadeia. A contrapartida deste alinhamento estratégico é a distribuição dos ganhos equânimes entre as empresas, conforme o esforço e o investimento de cada agente (CHRISTOPHER, 1997).

A nova teoria sobre estratégias adotadas nas cadeias de suprimentos sugere que as empresas integrantes da cadeia repartam os ganhos de modo equilibrado, sem assimetrias (COOPER *et al.*, 1997 *apud* TRIENEKENS, 1999), ou seja, os benefícios devem ser distribuídos a todos os integrantes da cadeia. Não é interessante que haja, na cadeia, empresas “vencedoras” e empresas “perdedoras”. Portanto, esta nova visão sugerida pelos autores mencionados, sedimenta uma nova forma para a definição da estratégia da empresa, onde a mesma necessita agora estabelecer metas e objetivos em conjunto com seus fornecedores e clientes também.

2.1.5 GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS E GESTÃO LOGÍSTICA

Para se compreender o gerenciamento da cadeia de suprimentos, é importante destacar as diferenças entre o gerenciamento da cadeia de suprimentos e o gerenciamento da logística geral da empresa, normalmente definidas como uma mesma atividade gerencial.

Comumente, utiliza-se o termo gerenciamento logístico para se referir às atividades de Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, por isso a necessidade de se entender sua diferenciação (COPACINO, 1997).

Tanto o gerenciamento da cadeia de suprimentos, como a gestão logística, refere-se à arte de gerenciar o fluxo de materiais e produtos da fonte até o usuário. O gerenciamento inclui todo o fluxo de materiais, desde a aquisição de matérias-primas até a entrega de produtos acabados para o usuário final (bem como todo o fluxo de informações que controla o movimento dos materiais).

Desta forma, consideram-se as atividades fornecimento e compra, conversão (atividades manufatureiras), incluindo planejamento e gerenciamento das operações dos armazéns, gerenciamento de inventários, transportes de embarque e desembarque, gerenciamento do serviço ao cliente, lojas, promoções e atividades de *marketing*, muito similares com o gerenciamento da cadeia de suprimentos.

O gerenciamento logístico é o processo de gerenciamento estratégico da aquisição, movimentação e estocagem dos materiais, partes e inventário de produtos acabados (e fluxos de informação relatados) através da organização e de seus canais de *marketing* que buscam um caminho para maximizar lucros atuais e futuros através da finalização das ordens de pedido com um custo eficiente (CHRISTOPHER, 1998). Ou ainda, o gerenciamento logístico é uma parte do processo da cadeia de suprimentos, e não o processo inteiro (BALLOU, 2006). O processo da cadeia de suprimentos também pode ser definido por muitos autores como Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS), ou em inglês, como *Supply chain Management* (SCM).

Ao considerar o gerenciamento da cadeia de suprimentos, a gestão logística torna possível os seguintes objetivos: movimentação de materiais, serviços, fluxo de informação. A logística tem como objetivo criar valor dentro da cadeia de suprimentos através do gerenciamento de serviços para os clientes, gerenciamento de estoques, transportes, estocagem, manuseio, embalagem, informação, previsão, plano de produção, compras, montagem, locação de facilidades e distribuição (BOWERSOX *et al.* 2007; GOURDIN, 2006; SIMCHI-LEVI *et al.* 2003).

Segundo Walsh *et al.* (2004), define-se o gerenciamento da cadeia de suprimentos como o gerenciamento de um grupo de empresas e indivíduos que trabalham de forma colaborativa em uma rede de processos Inter-relacionados, estruturados para melhor satisfazer as necessidades do usuário final.

Para Al-Mudimgh *et al.* (2004), o gerenciamento da cadeia de suprimentos é reconhecido como um conceito capaz de agregar benefícios tanto de natureza estratégica quanto operacional.

Portanto, os conceitos de gerenciamento logístico e cadeia de suprimentos são distintos. O fator de diferenciação se dá no ciclo de cada um deles. Em função do tipo de empresa, relativamente à sua característica mais marcante, existem diferentes tipos de cadeias produtivas e ciclos logísticos (CAVANHA FILHO, 2001).

Baseado nestas definições, conclui-se que existe uma diferença fundamental entre os conceitos de gestão da cadeia de suprimentos e o de gestão da logística integrada. A diferença diz respeito aos relacionamentos e às parcerias entre empresas. O gerenciamento da cadeia de suprimentos envolve um conjunto maior de processos e funções do que a gestão da logística integrada.

2.1.6 GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS E EFEITO CHICOTE

O efeito chicote influencia negativamente o desempenho de cada agente, prejudicando assim os relacionamentos entre as diversas camadas da cadeia de suprimentos. Existe uma tendência de responsabilizar outros elos da cadeia, pois cada um dos agentes, normalmente, aperfeiçoa apenas os seus processos. O efeito chicote, dessa maneira, pode levar a uma perda de confiança entre os agentes e dificultar o compartilhamento do fluxo de informações, e desta forma, agravar a falta de coordenação.

Os autores, Chopra e Meindl (2003), reforçam que o efeito chicote é a resultante falta de coordenação do fluxo de informações na cadeia de suprimentos e exercem um impacto negativo significativo no desempenho da cadeia como um todo. O efeito chicote distancia a cadeia de suprimentos da eficiência, pois aumenta consideravelmente o desperdício inerente nos processos e interfaces.

Autores, como Womack e Jones (2004), sugerem a aplicação dos princípios *Lean* na cadeia de suprimentos como um todo, de forma a minimizar a amplificação das distorções de demanda e dos desperdícios que afetam o desempenho da cadeia como um todo.

2.1.7 CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção civil tem passado por inúmeras transformações, e com a implementação de novos paradigmas industriais, o setor também tem procurado acompanhar as mudanças do mercado competitivo. As cadeias de suprimentos da construção civil têm numerosas e complexas ligações entre os seus agentes, uma vez que é composta pelo fornecimento de inúmeros materiais e componentes para a execução de uma obra civil. Para a elaboração de um produto da construção civil é necessário o fornecimento de inúmeros insumos e uma infinidade de serviços de mão-de-obra. Esta característica dificulta o gerenciamento da cadeia de suprimentos deste setor produtivo.

Estudos têm sido desenvolvidos, com o intuito de buscar ferramentas no setor industrial que aperfeiçoem os processos de gerenciamento da cadeia de suprimentos na construção civil.

Isatto (2005) destaca a limitação da aplicação do conceito “gerenciamento da cadeia de suprimentos” para o setor da construção civil. E ainda ressalta que autores destacam que uma das principais razões é a pobre compreensão dos conceitos pelas empresas de construção, e as peculiaridades que caracterizam as atividades da indústria da construção.

Vrijhoef e Koskela (2000) observam que a cadeia de suprimento da construção civil se caracteriza pelo seu caráter isolado e parcial, apresentando limitações quando existe a transferência de conceitos e práticas relacionados à gestão da cadeia de suprimentos da indústria. Argumentam ainda que é necessário definir claramente os papéis e possibilidades do gerenciamento da cadeia de suprimentos da construção civil. Vrijhoef e Koskela (2000)

caracterizaram a cadeia de suprimentos na construção civil sob três características marcantes:

- A cadeia de suprimentos da construção civil é uma cadeia convergente, porque todos os materiais são direcionados para o canteiro de obras, onde o produto final é produzido;
- Salvo raras exceções, a cadeia de suprimentos tem caráter temporário, estabelecida para a execução de projetos de construção únicos;
- A típica cadeia de suprimentos da construção civil é *make-to-order* (cadeia empurrada). Há pouca repetição, com raras exceções.

Com relação ao gerenciamento da cadeia de suprimentos da construção civil, outra característica fundamental que deve ser destacada é o controle de estoque. O gerenciamento de estoque na construção civil requer equilíbrio entre o desejo de o construtor ter os materiais no canteiro com antecedência, e os benefícios decorrentes da redução do estoque. Em uma situação hipotética, ter 100% de estoque, antes de se iniciar o projeto, maximiza a flexibilidade do trabalho da equipe e elimina a possibilidade de atraso na construção devido a atrasos de entrega. No entanto, tem-se o custo de gerenciamento do estoque, o risco de danificação ou perda dos materiais e a inflexibilidade em resposta às mudanças no projeto (WALSH *et al.*, 2004).

A construção civil não se caracteriza por manter estoques a longo prazo, uma vez que se apóia na produção "puxada", em que os insumos para a execução das tarefas chegam à obra de acordo com a atividade a ser realizada. Existe uma limitação quanto ao volume de material a ser entregue no canteiro de obras, devido à capacidade do veículo que realiza o transporte e às flutuações nos preços dos materiais. Portanto, ocorre aquisição de insumos em quantidade maior do que seria utilizada em determinada atividade (SZAJUBOK *et al.*, 2006).

Nas cadeias de suprimentos da construção civil, verifica-se o estoque de segurança como sendo o estoque de maior incidência, cujo objetivo é compensar as incertezas entre fornecimento e demanda, pois existe um tempo entre o pedido ser feito e a sua entrega, e nesse intervalo é necessário ter a matéria-

prima para que não haja uma interrupção no processo construtivo (SZAJUBOK *et al.*, 2006).

2.2 LEAN THINKING E CADEIAS DE SUPRIMENTOS

No início do século XX, observou-se o paradigma industrial que mudou a produção automobilística artesanal para a produção industrial em massa. Ao término da segunda guerra mundial, os japoneses decidiram criar uma indústria automobilística baseada nos conceitos da fábrica *Ford* e adaptada ao mercado japonês.

O mercado interno japonês demandava uma ampla variedade de produtos, com qualidade assegurada e custos menores. As soluções encontradas pela *Toyota* para se inserir nesse mercado foram: produção em fluxo, tecnologias altamente flexíveis, processos à prova de erros e organização por família de produtos para garantir variedade na produção. Taiichi Ohno, criador do Sistema *Toyota* de Produção (*Toyota Production System – TPS*), definiu a base do sistema que daria início ao novo paradigma produtivo na tentativa de total eliminação de desperdícios. Para alcançar este objetivo, estabeleceu dois pilares de sustentação para o sistema: *just-in-time* e a automação (OHNO, 1988).

A técnica do *just-in-time* consistia em controlar todos os processos de forma somente a produzir o necessário, quando necessário, ou seja, a produção é puxada pela demanda do cliente final. A automação é um conceito que tem como significado a automação de atividades com um toque humano, o que proporciona um aumento de produtividade, uma vez que existe uma separação do tempo de máquina e do tempo do operador, possibilitando a parada automática da máquina quando detectada a produção de uma peça com defeito. (OHNO, 1988)

A competição do mercado e o elevado desempenho do TPS originaram muitos estudos direcionados para a eliminação de desperdícios, baseados em estudos anteriores de Ohno (1988), Monden (1984), Schonberger (1984), Suzaki (1987) e outros autores que estudaram as diversas diferenças entre o sistema de produção ocidental e o Sistema *Toyota* de Produção.

Womack, Jones e Ross (1992) introduziram pela primeira vez o conceito *Lean production*, explicando que este nada mais era do que uma forma de produzir cada vez mais com cada vez menos, e oferecer ao cliente o que ele deseja, quando ele deseja. O conceito foi formulado no início da década de 90, baseado no Sistema *Toyota* de Produção (TPS), que se firmou como um novo paradigma de produtividade na manufatura e para a cadeia de suprimentos também.

Womack e Jones (1998) abordaram a questão de eliminação de desperdícios através da implementação da mentalidade enxuta nas empresas. Os autores criaram o termo *Lean thinking* ou mentalidade enxuta, expandindo os conceitos do *Lean production* para a empresa como um todo. A base da mentalidade enxuta foi respaldada em cinco princípios: valor, fluxo de valor, fluxo, produção puxada e perfeição.

A base do conceito do *Lean thinking* é a eliminação dos desperdícios dentro e entre empresas. Os desperdícios são as atividades que não agregam valor ao produto, do ponto de vista do cliente, mas são realizadas dentro do processo de produção. Ohno (1988) descreveu, pela primeira vez, os sete tipos de desperdícios possíveis de serem encontrados dentro do processo produtivo: excesso de produção, movimento, transporte, estoque, espera, atividades desnecessárias e defeitos.

Com o intuito de eliminar estes desperdícios, muitas técnicas foram desenvolvidas, sendo que muitas delas estão diretamente ligadas aos princípios da mentalidade enxuta, tais como o *kanban* (sistema de cartões para otimização da produção), *just-in-time* (produção controlada através da demanda do cliente final), 5 “S” (técnica japonesa de organização e limpeza do ambiente de trabalho), *poka-yoke* (dispositivo à prova de erros), dentre outros.

Entretanto, estas técnicas foram confundidas com o próprio sistema de produção, ou então, empresas optaram por adotar a implementação de algumas técnicas isoladamente e acabaram não obtendo resultados satisfatórios, ou apenas resultados parciais. Para a implementação do *Lean thinking* é necessário

mais que a aplicação de técnicas e ferramentas para controle de produção, é fundamental que seja implementado os princípios da mentalidade enxuta, ou seja, para a obtenção de todos os benefícios é necessária uma mudança cultural (WOMACK; JONES, 1998). Na seção a seguir, apresentamos as ferramentas *Lean*, e que estão diretamente relacionadas com à pesquisa.

2.2.1 PRINCÍPIOS DO *LEAN THINKING*

Conforme citado, Womack e Jones (1998) estabeleceram cinco princípios para a fundamentação do *Lean thinking*. Os princípios, descritos pelos autores podem ser resumidos da seguinte forma.

2.2.1.1 DEFINIÇÃO DE VALOR

O foco principal da mentalidade enxuta é a identificação do valor do produto que será produzido, sob o ponto de vista do cliente. Na maioria das vezes as empresas desenvolvem produtos específicos para clientes específicos, esperando que esses aceitem seus produtos e mantenham a fidelidade à empresa. Entretanto, existe uma dificuldade dos executivos, responsáveis pela criação e desenvolvimento de produtos, de enxergar o produto da mesma forma que o cliente: da sua concepção ao lançamento; do pedido à compra do cliente.

2.2.1.2 FLUXO DE VALOR

O fluxo de valor ou cadeia de valor é o conjunto de todas as ações específicas necessárias para um produto específico passar pelas três tarefas gerenciais críticas em qualquer negócio: a tarefa de solução de problemas, a tarefa de gerenciamento da informação e a tarefa da transformação física.

Muitos desperdícios passam despercebidos, porque não existe uma consciência de se verificar as etapas e analisá-las de forma crítica para apurar sua real necessidade. Além de se observar as etapas envolvidas dentro da empresa, Womack e Jones (2004) propõem que o fluxo de valor seja analisado

como um todo, ou seja, a análise deve ser expandida para todos os agentes de uma cadeia.

Para entender-se o fluxo de suprimentos como um todo, analisa-se o conjunto de informações envolvidas: desde a criação do produto e sua fabricação, da concepção à disposição, da venda à entrega, análise das atividades de projeto, recebimento do pedido, a programação da produção, e da matéria-prima distante até as mãos do cliente.

2.2.1.3 FLUXO CONTÍNUO

Normalmente, o fluxo de produção tradicional ocorre com atrasos e com acúmulos de estoques entre os processos produtivos (Figura 2.2).

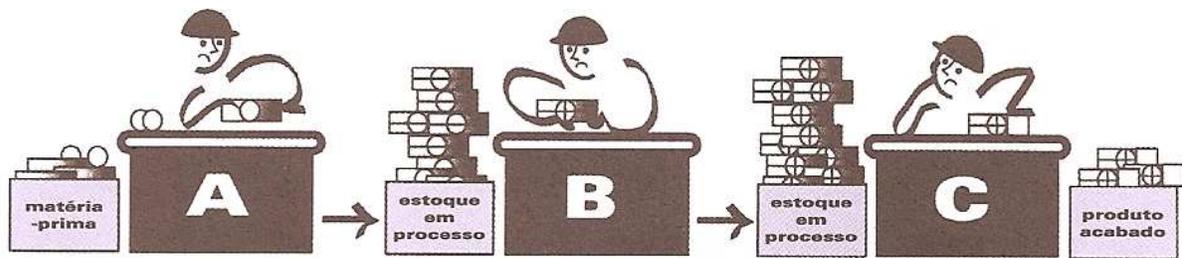


Figura 2.2 Representação do fluxo empurrado na produção (Léxico Lean, 2003)

O fluxo contínuo pode ser compreendido como: produzir e movimentar um produto por vez ao longo de uma série de etapas de processamento continuamente, sendo que em cada etapa se realiza apenas o que é exigido para a etapa seguinte (Léxico *Lean*, 2003).

O fluxo contínuo é esperado após a identificação das etapas que não agregam valor, para que se consiga fluir as etapas selecionadas (WOMACK; JONES, 1998). Ohno (1988) e seus colaboradores concluíram que o verdadeiro desafio era criar o fluxo contínuo na produção de pequenos lotes quando eram necessárias dezenas de cópias de um produto, e obtiveram resultado quando aprenderam a trocar rapidamente ferramentas de um produto para outro e o dimensionamento correto das máquinas, para que as várias etapas de produção, de diversos tipos de produto, pudessem ser realizadas imediatamente adjacentes

umas às outras, enquanto o objeto em produção era mantido em fluxo contínuo (WOMACK; JONES, 1998).

Para Rother e Harris (2002), a mentalidade enxuta ensina o contrário do que é intuitivo, ou seja, que a produção em fluxo contínuo do produto é mais eficiente do que a produção em lotes (Figura 2.3).

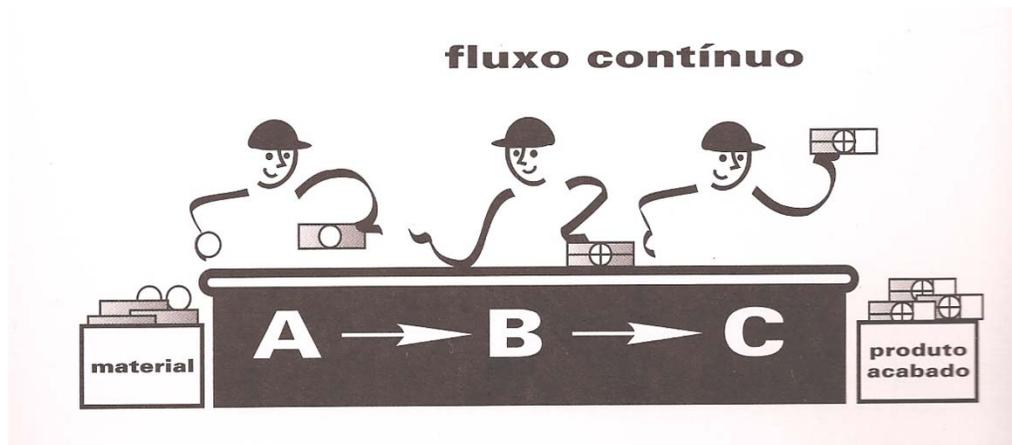


Figura 2.3 Representação do Fluxo contínuo na produção (Léxico Lean, 2003)

2.2.1.4 PRODUÇÃO PUXADA

Outro conceito da mentalidade enxuta é permitir que o cliente puxe o produto da empresa, ou seja, quando necessário, ao invés de empurrar os produtos (criando estoques de todos os tipos), espera-se que o cliente faça o pedido antes de se iniciar a produção. As demandas dos clientes se tornam mais estáveis quando eles sabem que podem obter prontamente o produto desejado.

2.2.1.5 PERFEIÇÃO

A empresa que consegue aplicar os quatro conceitos apresentados: a identificação do valor, a identificação da cadeia de valor do produto, o fluxo contínuo e a produção puxada, identificam que os processos envolvidos em sua produção terão uma redução de tempo, esforço, custo e erros. O processo tenderá a ser contínuo para aproximar o produto acabado do desejo do seu cliente final (WOMACK; JONES, 1998).

A intenção da mentalidade enxuta é que haja uma interação entre os princípios, de forma a reduzir drasticamente o desperdício dentro do processo produtivo como um todo.

A interação dos princípios resulta na garantia da melhoria contínua dentro dos processos da empresa. A perfeição está relacionada à melhoria contínua através do constante esforço, de todos os envolvidos no sistema, na redução de qualquer tipo de desperdício.

2.2.2 MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR (MFV)

O método mapeamento de fluxo de valor (MFV), apresentado por Rother e Shook (2000), também conhecido como Mapeamento de Fluxo de Informações e Material, tem como objetivo principal auxiliar o desenho dos estados atual e futuro dos processos produtivos e o seu estado ideal, para auxiliar na elaboração de planos de implantação e aplicação de sistemas enxutos e para enxergar-se o caminho da fabricação de um produto do início até o fim.

Segundo Rother e Shook (2000), com a aplicação desta ferramenta, é possível ter uma visualização integrada dos processos, proporcionando a implementação de melhorias sistemáticas e permanentes, que têm como objetivo a eliminação dos desperdícios e a identificação de suas fontes.

O MFV visa representar todos os processos, de forma a percorrer todo o caminho, desde a aquisição da matéria-prima dentro da empresa, até a entrega ao consumidor final, o que é denominado por Rother e Shook (2000) como fluxo “porta-a-porta”. O MFV segue a trilha de produção do produto, desde o consumidor até o fornecedor, representando esta trilha através de desenhos de cada um dos processos no fluxo de material e informação.

O MFV representa a produção dentro da planta de um único agente, desde a entrega da matéria-prima para a produção, até a saída do produto para o próximo agente do fluxo de suprimentos (ver Figura 2.4). O MFV apresenta os estoques de matéria-prima, estoques em processo e estoques de produtos

acabados, representados pelos triângulos. Observa-se também na parte superior do mapa o fluxo de informação e de que forma as informações caminham ao longo da empresa. Na parte inferior do mapa observa-se o fluxo de materiais ao longo dos processos produtivos da fábrica. A adoção da visão que o MFV proporciona possibilita projetar uma visão futura e implementá-la para atingir as melhorias planejadas.

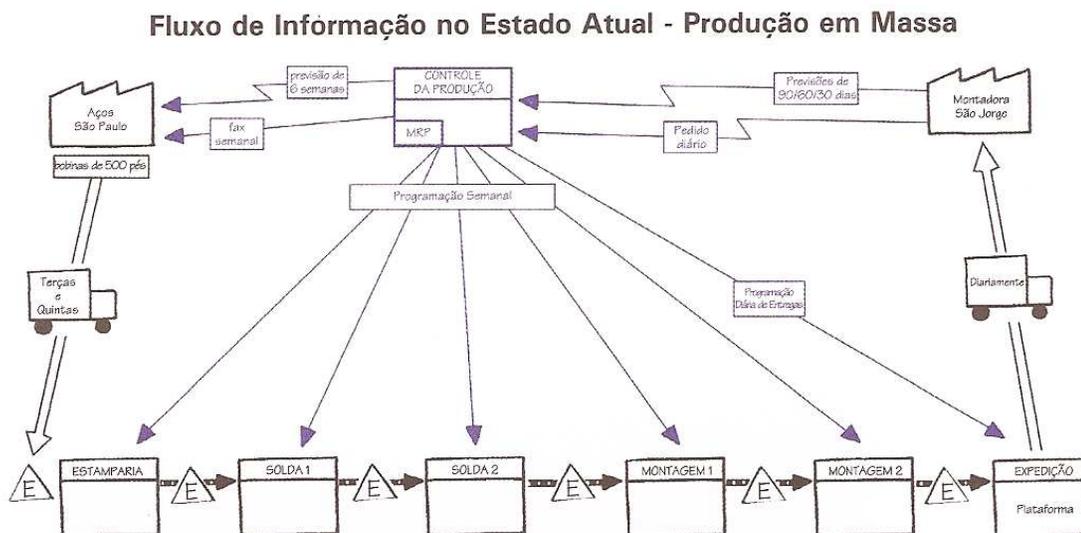


Figura 2.4 Exemplo de mapa de fluxo de valor do estado atual de uma produção em massa (Léxico Lean, 2003)

Após o desenho do MFV do estado atual e a compreensão dos desperdícios e processos que não agregam valor, é elaborado o MFV do estado futuro com as modificações propostas para a eliminação de estoques e desperdícios para a otimização dos processos. Existe a possibilidade de uma variação administrativa do MFV (TAPPING; SHUNKER, 2003), onde se utiliza a aplicação da ferramenta de mapeamento para a descrição de processos administrativos com o mapa de fluxo de valor administrativo.

No MFV do estado futuro, normalmente, contempla-se as ferramentas *Lean*, para a implementação de modificações nos processos. Na figura 2.5, observa-se a introdução de supermercados, e a utilização de cartões *kanban* para nivelar e coordenar a produção em função dos pedidos do cliente. O significado da palavra *kanban* em japonês é sinalização (Léxico *Lean*, 2003).

No MFV do estado futuro também se observa a criação de célula de solda e montagem, para a criação de fluxo de produção. Normalmente, o tempo de produção de um item no MFV do estado futuro tem uma sensível redução, em função da eliminação dos estoques entre processos e das etapas que não agregam valor.

Fluxo de Informação no Estado Futuro - Produção Lean

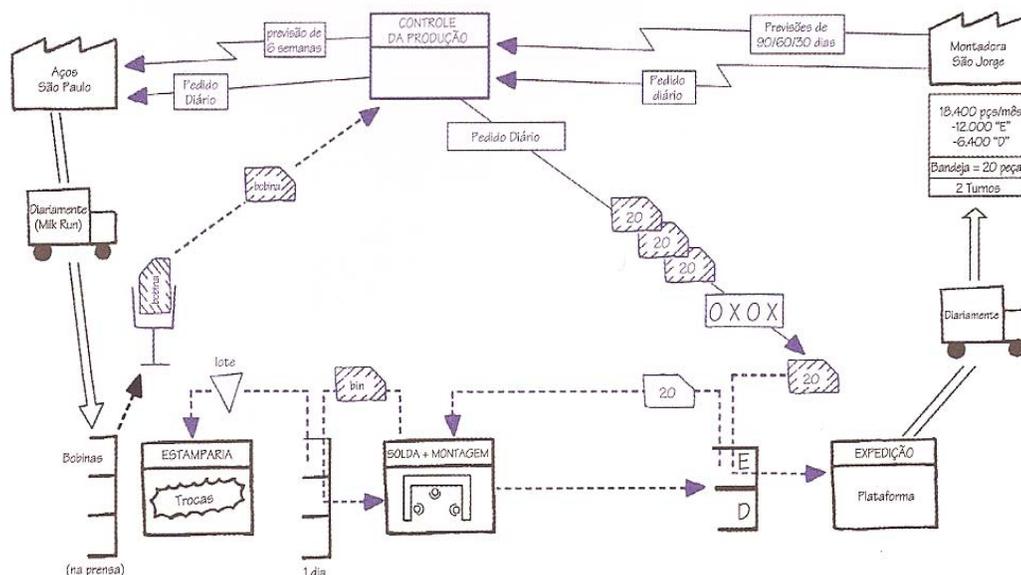


Figura 2.5 Exemplo de mapa de fluxo de valor do estado futuro de uma produção em massa (Léxico Lean, 2003)

2.2.3 SISTEMA PUXADO

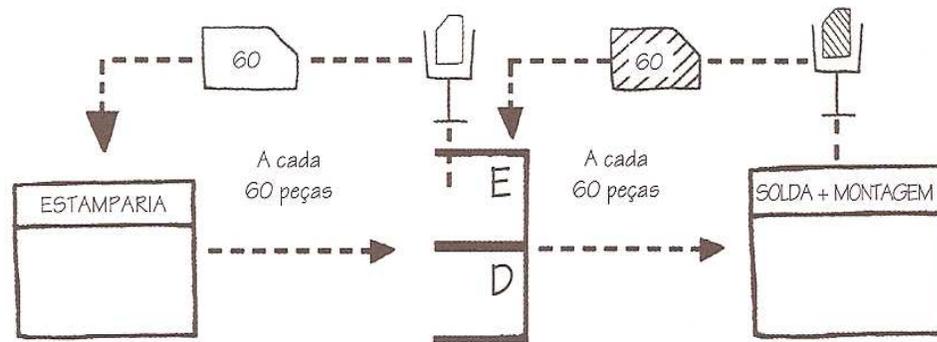
2.2.3.1. Sistemática de funcionamento do *kanban*

Uma solução para adequar a produção de materiais a este princípio *Lean*, seria adotar a ferramenta *kanban*. O *kanban* é um dispositivo sinalizado que autoriza e passa instruções para a produção ou para a retirada de itens em um sistema puxado (Léxico *Lean*, 2003).

Os cartões *kanban* são exemplos de sinalização e podem ser feitos em cartões comuns ou em placas de metal. O principal objetivo dos cartões *kanban* é

fornecer informações necessárias, evitando desta forma um erro, em função de informações ou instruções imprecisas.

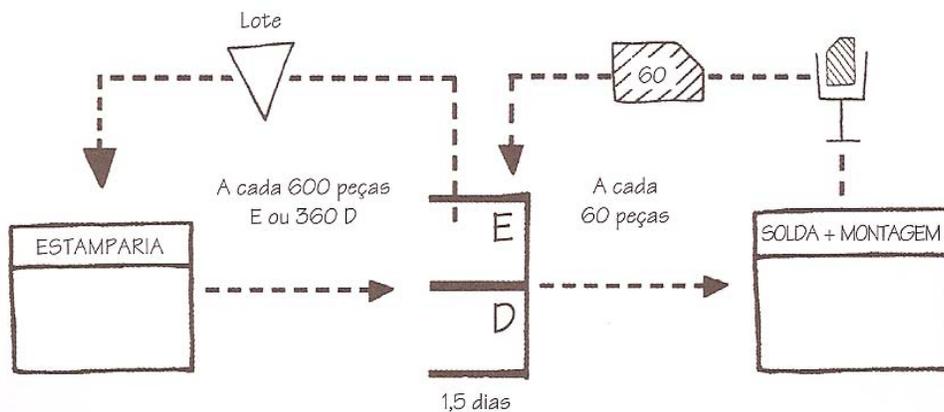
O *kanban* de produção informa o processo anterior que tipo e que quantidade de produto deve ser produzida para atender a um processo fluxo seguinte (ver figura 2.6).



Exemplo de Kanban de Produção e de Retirada.

Figura 2.6 Exemplo de kanban de Produção de Retirada (Léxico Lean, 2003)

O *kanban* de sinalização é utilizado para autorizar a produção quando a quantidade mínima do supermercado ou estoque foi atingida. Os *kanbans* de sinalização freqüentemente são triangulares, e por isso, também são chamados de *kanbans* triangulares (ver Figura 2.7).



Exemplo de Kanban de Sinalização e Retirada.

Figura 2.7 Exemplo de Kanban de Sinalização e Retirada (Léxico Lean, 2003)

É preciso que o *kanban* de produção e o *kanban* de retirada trabalhem juntos para garantir o sistema puxado da produção.

A aplicação do *kanban* pode ser feita à cadeia de suprimentos. Na cadeia de suprimentos, além do fluxo de produção interno de cada agente, é necessário garantir fluxo contínuo e o sistema puxado nas interfaces entre agentes, ou seja, no fluxo de informação de pedido e no fluxo de transporte do produto. O sistema puxado para a cadeia de suprimentos é freqüentemente expresso em pequenos lotes, estabelecido entre cada uma das empresas participantes e plantas ao longo da cadeia. Esta política de pequenos lotes e entregas freqüentes também pode ser denominada como um sistema *just-in-time*, ou seja, implica em cada empresa produzir somente o que foi demandado pelo seu cliente (Léxico *Lean*, 2003).

2.2.3.2. CÁLCULO DO SUPERMERCADO

Para a aplicação do sistema *Just-in-time* é necessário o cálculo do estoque do supermercado. Dentre diversas fórmulas de cálculo de *kanban*, adotou-se Smalley (2004). Smalley (2004) adota o cálculo do supermercado como composto de estoque de ciclo + estoque pulmão + estoque de segurança. Estoque de ciclo = demanda média diária x *lead time* de reposição (dias). Sendo:

- Estoque pulmão = 2 x desvio padrão da demanda
- Estoque de Segurança = % adotada sobre (Estoque de ciclo + estoque pulmão)

O estoque de ciclo depende da freqüência com que o supermercado é reabastecido (intervalos entre produção do item, ou intervalo entre pedidos no caso de *kanban* de fornecedor).

O estoque pulmão tem por objetivo cobrir as variações de demanda. A adoção de 2 x o desvio padrão sugerida por Smalley (2004) cobre 97,7% da variação normal dos pedidos, podendo ser adotado outro valor.

O estoque de segurança cobre ineficiências do processo fornecedor (defeitos, paradas de máquina, etc). No exemplo de Smalley (2004) ele adota 20%, deixando claro que deve ser adotado conforme cada caso.

2.2.3.1 2.2.3.3. MILK RUN NO SISTEMA PUXADO

Na figura 2.8, pode-se observar um exemplo de transporte de pedido de forma tradicional, onde, o fornecedor envia os pedidos, de forma empurrada, sem um planejamento prévio da logística de entrega.

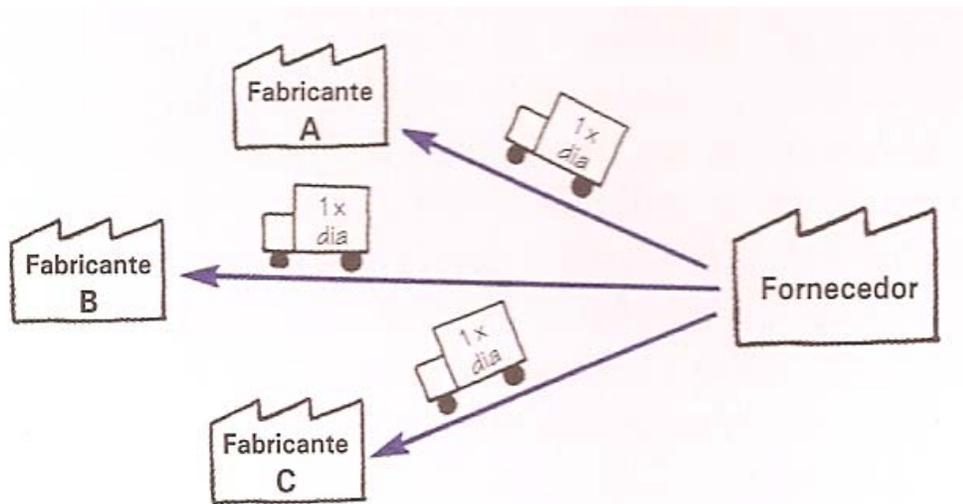


Figura 2.8 Exemplo de Transporte

Na cadeia de suprimentos que trabalha com o sistema puxado, necessita de um sinal para puxar as entregas (*kanban*), utiliza dispositivos de nivelamento, e entregas freqüentes e em pequenos lotes. Normalmente, a cadeia utiliza o sistema puxado, planeja suas entregas a partir do *Milk run*. O *Milk run* é o método de acelerar o fluxo de materiais entre plantas no qual os veículos seguem uma rota para fazer múltiplas cargas e entregas em muitas plantas. Ao realizar carregamentos e entregas freqüentes, com veículos em *Milk run* conectando diversas plantas, em vez de esperar acumular materiais para a expedição direta com caminhão cheio entre duas plantas, é possível reduzir os estoques e o tempo de reação ao longo de um fluxo de valor. O conceito de *Milk run* entre

plantas (ver Figura 2.9) é similar às rotas de movimentação de materiais dentro das plantas (Léxico *Lean*, 2003).

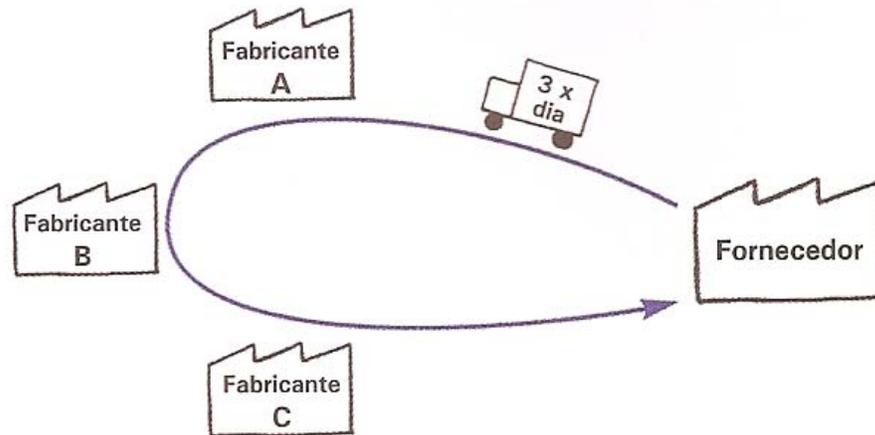


Figura 2.9 Transporte com a aplicação de Milk run (Léxico *Lean*, 2003)

2.2.4 LEAN THINKING APLICADO À CADEIA DE SUPRIMENTOS

A indústria automobilística tem servido como setor paradigmático nas questões relacionadas à administração da produção e à gestão da cadeia de Suprimentos, especialmente com o advento da produção.

Alves Filho *et al.* (2004) afirmam que seja qual for a situação da cadeia de suprimentos, a implementação do modelo de produção enxuta ou do fornecimento (*Lean supply*) irá tornar a cadeia mais eficaz e eficiente. Em função dos elementos adotados para a avaliação da cadeia enxuta e a correspondente gestão da cadeia enxuta, será possível avaliar o quão eficiente ou eficaz é cada sistema.

Com o advento das práticas modernas de gerenciamento, tais como: o *just-in-time* e o TQM – *total quality management* – o estabelecimento de relações mais estreitas com os fornecedores passou a ser determinante para que os produtos pudessem ser entregues com qualidade assegurada e nas quantidades e prazos corretos (ALVES FILHO *et al.*, 2004)

Como proposta para a definição destas novas relações, a nova perspectiva do gerenciamento de Cadeia de Suprimentos sugere a redução do número de fornecedores (LUMMUS; VOKURKA; ALBER, 1998).

O intuito da redução da base de fornecedores é permitir e estimular a cooperação mútua que, segundo Mchug, Humphreys e Mclvor (2003), tem intensidade variável de acordo com a participação do custo do produto fornecido no produto final.

Towill, Childerhouse e Disney (2002) analisaram cadeias automotivas da indústria européia e concluíram que a maioria dessas cadeias teria atingido um estágio de integração funcional. Desta forma, poderiam ser consideradas como cadeias que possuem processos enxutos, serviriam como base para a sua evolução ao estágio mais avançado de integração interna. Cerca de 20% estariam exibindo um conjunto de boas práticas, mas cerca de 70% estariam em estágios de transição, ainda distantes do que os autores construíram como modelo de referência.

Bensaou (1999) observou que as parcerias estratégicas são pouco evidentes entre firmas japonesas do que entre as americanas, esta conclusão foi baseada em resultados de sua pesquisa empírica envolvendo gerentes de empresas americanas e japonesas. Na indústria automobilística japonesa predominam os casos dos “fornecedores parceiros”, em que os fornecedores fazem investimentos em ativos específicos (para a relação com cada montadora) maiores do que os investimentos correspondentes realizados pelas montadoras.

2.2.5 MACRO MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR (MMFV)

Womack e Jones (2004), a partir do mapeamento apresentado por Rother e Shook (2000), sugerem que os princípios *Lean thinking* sejam estendidos para todas as empresas que compõem a cadeia de fornecimento, criando então o Macro do Mapeamento de Fluxo de Valor (MMFV). O mapeamento, que anteriormente foi proposto para apenas uma empresa, agora é estendido para todos os agentes da cadeia de suprimentos.

A partir da elaboração do desenho do Macro Mapeamento de Fluxo de Valor, segundo Womack e Jones (2004) o mesmo deve permitir:

- Uma visualização completa dos processos que compõem o fluxo de valor da família de produto específica, bem como a identificação dos fornecedores e seus processos produtivos;
- Identificação dos desperdícios inerentes ao fluxo de valor da família de produtos escolhida;
- Criação de uma linguagem comum entre os participantes do fluxo de valor, entre a empresa e seus fornecedores;
- Uma visualização das decisões sobre o fluxo de valor, de modo a facilitar a discussão entre os integrantes do processo de fornecimento e fabricação;
- Possibilidade de aplicação de conceitos e técnicas enxutas dentro do macro mapeamento, pois a visualização do fluxo de valor do produto favorece a aplicação de técnicas enxutas como um todo, e não isoladamente, mas ao longo de toda a cadeia de fornecimento;
- Possibilidade de criação de uma base documental, pois uma vez mapeado o estado atual do fluxo de valor do produto, este funciona como uma referência para a implementação enxuta ao longo da cadeia;
- Visualização do fluxo de materiais conjuntamente com o fluxo de informações, possibilitando identificar as falhas entre empresas e fornecedores;
- Possibilidade de descrever qualitativa e quantitativamente cada um dos seus processos produtivos, e estabelecer comparações entre ABNT.

O objetivo principal do macro mapeamento do fluxo de valor é permitir aos agentes da cadeia de suprimentos enxergarem desperdícios e focar no fluxo como um todo, o estado ideal e possibilitar análises das interfaces necessárias para a composição do estado futuro incorporando melhorias.

2.2.5.1 DESENHO DO MACRO MAPA DO FLUXO DE VALOR (MMFV)

A elaboração do macro mapeamento do fluxo de valor é uma forma estendida de análise do mapa de fluxo de valor de uma família de material ou material específico, ao longo da cadeia de suprimentos. Os processos relevantes devem ser mapeados em dois fluxos distintos: informações pertinentes aos processos, representados na parte superior, iniciando-se no cliente até o primeiro fornecedor de produtos. Na parte de baixo do mapa (Figura 2.12) deve estar representado o fluxo de materiais, da matéria-prima em direção ao cliente, de maneira semelhante ao MFV.

Uma das vantagens do macro mapeamento do fluxo de valor é desagregar problemas operacionais, e proporcionar a visualização dos fluxos de suprimentos, materiais e informação, como um todo.

O macro mapa de fluxo de valor ideal deve mostrar todas as informações pertinentes dos participantes da cadeia de fornecedores; entretanto, nem sempre é possível conseguir esta total abrangência, portanto, é necessário definir os agentes mais relevantes para a composição do produto final.

Para a realização deste mapeamento, é necessária a cooperação das empresas envolvidas, para desenhar o Mapa de Fluxo de Valor (MFV) porta-a-porta de cada um dos agentes envolvidos na cadeia, utilizando o método de Rother e Shook (2000). Através do MMFV, falhas e lacunas no fluxo de materiais e informações são demonstrados de forma clara e consistente, possibilitando o início de uma conversação inteligente entre cada um dos agentes envolvidos para a identificação das causas de desperdícios, e a divisão de responsabilidades, de qualidade, de custo, de confiabilidade e de problemas comuns de comunicações entre os participantes.

Após o desenho do macro mapa do estado atual, inicia-se o desenho do macro mapa do estado futuro, tendo como ponto de partida as questões acima mencionadas, removendo as etapas que geram desperdícios e simplificando o fluxo de informações.

2.2.5.2 MACRO MAPA DO ESTADO ATUAL (MMEA)

Para realizar o desenho do macro mapa do estado atual, necessita-se escolher a família de produtos que será estudada, e iniciar a análise do produto escolhido que terá o seu fluxo de valor mapeado. Elabora-se uma relação dos materiais necessários para a composição do produto final e uma relação dos fornecedores responsáveis.

Para o início do macro mapeamento é necessário percorrer o caminho do fluxo de valor que será mapeado, recordando os processos visitados, o transporte de produtos entre agentes, o desempenho de cada um dos componentes. No macro mapeamento, a sugestão de Womack e Jones (2004) é iniciar o desenho sempre pelo cliente final.

O MMEA permite o desenvolvimento da habilidade de distinção das etapas que agregam valor, das etapas que não agregam ou induzem apenas ao desperdício. Existem enormes lacunas entre o tempo total e o tempo real de valor agregado. A identificação destas etapas oferece uma oportunidade de otimização dos processos, redução dos desperdícios e melhoria nos relacionamento entre agentes da cadeia de fornecimento, bem como, entre os seus processos propriamente ditos.

Os agentes devem ser envolvidos, durante o processo de mapeamento, nos conceitos de valor e desperdícios, pois cada um dos processos envolvidos para a produção do componente deverá ser analisado sob esta ótica. A quantificação de tempos, distâncias e estoques é realizada no fornecimento entre agentes. Estes fatores impactam diretamente no resultado final apresentado no desenho do macro mapa.

O fluxo de material sempre deverá ser desenhado da esquerda para a direita, na parte inferior do mapa na seqüência dos agentes pertencentes ao processo. À medida que se inicia o desenho do MMEA, observam-se pontos onde existe o acúmulo de estoques. Estes pontos devem ser representados por ícones estoque (ícones triangulares representados com um sinal de advertência), mostrando locais onde o fluxo de materiais se acumula.

Depois de se definir todos os agentes pertencentes ao macro mapeamento, seus distribuidores e os meios de transportes envolvidos, são necessários representar o fluxo da informação dentro do macro mapa. O fluxo de informações deve ser desenhado na parte superior do mapa, sempre da direita para a esquerda.

Normalmente, cada agente dimensiona seus processos a partir da demanda de seus clientes, que muitas vezes são outras empresas que utilizam seus componentes para a montagem de outro produto e assim por diante. O macro mapa apresenta o cliente final e todos os seus agentes fornecedores para a composição do produto. Durante o mapeamento das informações, o movimento do material geralmente é empurrado, até chegar ao agente da cadeia. Raramente a cadeia de fornecimento funciona de forma puxada. Empurrar significa que o processo produz alguma coisa independente das necessidades reais da empresa cliente. Puxar significa que a empresa cliente pede exatamente a quantidade de produtos que realmente necessita.

Ao se trabalhar em produção empurrada, as empresas fornecedoras tendem a produzir componentes que muitas vezes as empresas clientes não precisam naquele momento, e aqueles componentes são empurrados para estoques. Este tipo de relacionamento entre fornecedores e compradores “lote e empurrado” torna quase impossível se estabelecer um fluxo de produção regular de uma empresa para outra. O fluxo de produção regular é fundamental para um fornecimento enxuto.

Se as empresas estão produzindo seus produtos de acordo com sua programação, então o fornecimento de produtos está sendo feito de forma empurrada, ou seja, quando a empresa dimensiona sua produção de forma isolada sem considerar a demanda real de seus clientes. Uma seta de “empurrar” deve ser desenhada entre cada uma das empresas.

Para representar o movimento da produção, utiliza-se o ícone representado por uma seta listrada para ilustrar o movimento empurrado de componentes e o ícone representado por uma seta vazia para o movimento puxado de

componentes. No caso da empresa dimensionar sua produção de acordo com a demanda do cliente, e enviar o produto, de acordo com o pedido do cliente e em pequenos lotes, a empresa está produzindo de forma puxada, neste caso o envio da produção deve ser caracterizado com uma seta de puxar.

2.2.5.3 MACRO MAPA DO ESTADO FUTURO (MMEF)

O MMEA possibilita o desenho de MMEFs, que projetam maneiras de se eliminar desperdícios, incorporando os conceitos *Lean*.

Como primeiro passo para a eliminação de desperdícios, é sugerido por Womack e Jones (2004) a implantação do sistema puxado dentro de cada um dos agentes envolvidos no fluxo. Conforme apresentado nos MFVs de cada um dos agentes, existem desperdícios durante a produção interna de cada empresa: estoques dentro dos agentes, etapas executadas que não agregam valor, retrabalho. Este primeiro passo garante uma redução das etapas que não agregam valor e uma diminuição no tempo de processo dentro de cada agente, proporcionando uma redução de desperdício no fluxo como um todo.

O segundo passo mencionado pelos mesmos autores na elaboração do MMEF seria instalar o sistema puxado entre os agentes, de forma que as empresas pertencentes ao fluxo sincronizassem sua produção com a demanda do seu cliente, evitando os estoques na fábrica. Para implementar o sistema puxado é necessário ligar o ponto do uso do produto em uma planta cliente como o ponto anterior de produção ou a expedição do primeiro na planta fornecedora. Assim o consumo no ponto de uso é rápido e exatamente repostado pelo processo anterior do fluxo de valor.

O complemento lógico e necessário para sistemas puxados entre plantas é o aumento da frequência de entregas entre plantas, segundo Womack e Jones (2004). Esta alteração nas entregas pode ser conseguida realizando-se entregas de caminhões cheios envolvendo diversos agentes. Este tipo de entrega é denominado *Milk run*. A introdução de entregas *Milk run* torna possível a eliminação de paradas em depósitos e armazéns.

O terceiro passo propõe uma reestruturação logística, onde cada um dos fornecedores criasse uma célula no último agente da cadeia, para a execução de parte do seu processo produtivo. Rumo ao estado futuro ideal, para a adoção desta sugestão, algumas considerações devem ser feitas, segundo WOMACK e JONES (2004).

- As etapas produtivas devem ser realizadas o mais perto possível uma das outras e idealmente deveria ocorrer no mesmo local.
- A produção deveria ser realizada em local mais próximo possível do cliente final, para se evitar estoques de produtos acabados. Se a proximidade acarreta custos adicionais de produção, tais custos devem ser comparados com o valor da economia de tempo que pode ser obtida.

Entretanto, estas modificações envolvem o re-arranjo comercial entre os agentes, exigem mudanças no comportamento do fluxo de suprimentos. É desejável que as informações sejam compartilhadas por todos os agentes do fluxo de suprimentos de forma a favorecer o planejamento a partir de dados reais da demanda.

Estas sugestões apresentadas no macro mapa do estado futuro são melhorias a serem implementadas através da aplicação dos conceitos *Lean* no fluxo de suprimentos. Todas as modificações devem ser discutidas pelos agentes envolvidos, para a sua aplicação. O desenho do macro mapa do estado atual (MMEA), com todos os dados internos de cada etapa do processo (estoques, tempos de fabricação, defeitos, etc), possibilita aos diversos agentes discutirem melhorias a serem adotadas e desenhar o MMEF visando reduzir ou mesmo eliminar desperdícios. O MMFE deve ser elaborado baseado no MFV de cada um dos agentes, para que seja possível obter o *lead time* e os estoques de toda a cadeia de suprimentos.

2.2.6 MACRO MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR E OS INDICADORES DE DESEMPENHO DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS *LEAN*

Os autores Womack e Jones (2004) acreditam que, a partir do levantamento de informações realizado para o desenho do macro mapa de fluxo de valor da cadeia de suprimentos, alguns indicadores podem resumir o diagnóstico realizado pelo MMFV. Estes indicadores podem ser obtidos no macro mapa de fluxo de valor, tanto do estado atual quanto do estado futuro.

2.2.6.1 LEAD TIME TOTAL

Os *leads times* (em dias), para cada triângulo que representa o estoque, são calculados dessa forma: a quantidade de produto em estoque, dividida pela demanda média diária ou pedidos diários do cliente. Ao adicionar a isto o *Lead time* em cada processo de produção e em cada triângulo do estoque no fluxo de material, podemos chegar a uma boa estimativa do *Lead time* total da produção (ROTHER; SHOOK, 1999).

2.2.6.2 PORCENTAGEM DE AGREGAÇÃO DE VALOR (TEMPO)

As atividades que agregam valor ao produto final são as atividades que realmente transformam o produto para que este faça com que o cliente se disponha a pagar por ele. A porcentagem de valor agregado tem como objetivo mensurar a proporção das atividades que agregam valor para o cliente final. Para fazer esta análise, pergunta-se ao cliente, se ao eliminar uma atividade específica, isto diminuiria ou não o valor do produto final para o mesmo. Qualquer atividade que gere custo e não agregue valor ao produto final, do ponto de vista do cliente poderá ser considerada como uma atividade que não agrega valor. Para calcular este indicador, deve-se dividir o tempo de atividades que agregam valor pelo indicador de *Lead time* total do processo.

2.2.6.3 PORCENTAGEM DE AGREGAÇÃO DE VALOR (AÇÕES)

A porcentagem de agregação de valor (ações) é assim calculada: as atividades que agregam valor para o cliente dividido pelo número de atividades totais para a realização do produto final.

2.2.6.4 GIRO DE ESTOQUE

O giro de estoque mede a velocidade em que os materiais estão se movimentando por uma planta ou por um fluxo completo de valor. O método mais comum de se calcular os giros de estoque é a utilização do custo anual dos produtos vendidos (antes de se adicionar às despesas gerais administrativas e de vendas) como numerador, dividido pela média anual dos estoques (LÉXICO *LEAN*, 2003).

Para se eliminar uma fonte de variação não relacionada ao desempenho do sistema de produção e as flutuações nos preços de vendas devido às condições do mercado, pode-se utilizar o custo dos produtos no lugar do faturamento. Quando se utiliza a média anual de estoques no cálculo, também se minimiza a queda artificial no estoque ao fim do ano (LÉXICO *LEAN*, 2003).

Os giros de estoque são uma ótima medida de transformação *Lean*, caso o foco mude do número absoluto de giros em cada planta, (ou em todo o fluxo de valor) para a taxa de aumento dos giros. Na verdade, se os giros forem calculados precisamente, utilizando-se as médias anuais dos estoques, os resultados podem ser bastante confiáveis (WOMACK; JONES, 2004). Como simplificação adotada, considerou-se para o cálculo o número de dias do ano dividido pelo estoque calculado em dias.

2.2.6.5 QUADRO DA QUALIDADE

O quadro de qualidade de refere a porcentagem de entregas de pedidos realizadas nos prazos e qualidade corretas.

2.2.6.6 FALHAS DE ENTREGAS

Este indicador se refere à porcentagem de falhas na entrega no final do fluxo, sobre a porcentagem de falhas na entrega no início do fluxo. Este indicador pode ser entendido, como o índice complementar do nível de serviço.

2.2.6.7 AMPLIFICAÇÃO DE DEMANDA

Existem duas causas principais de amplificação da demanda, na medida que os pedidos movimentam-se ao longo do fluxo:

- Número de pontos de decisão nos quais os pedidos podem ser ajustados;
- Atrasos enquanto os pedidos aguardam processamento (assim como ocorre com a espera pelo processamento semanal ou mensal do sistema MRP).

Maiores atrasos refletem em maior amplificação, conforme mais produção for determinada por previsões (o que torna menos preciso quanto maior o horizonte da previsão) e mais ajustes forem feitos aos pedidos.

Os princípios da mentalidade enxuta propõem o emprego da produção realizada através de sistemas puxados e nivelados, com retiradas freqüentes (a partir de instruções da produção e expedição em cada etapa do fluxo de valor) para minimizar a amplificação de demanda. Gráficos de ampliação de demanda apresentam pouca variação, no início de cadeia, mas à medida que o pedido trafega pelo fluxo de valor, a variação de demanda sofre uma variação maior (LÉXICO *LEAN*, 2003). O gráfico de ampliação da demanda é uma maneira excelente de se conseguir a conscientização a respeito do grau de amplificação presente em um sistema de produção. Se a amplificação da demanda pudesse ser completamente eliminada, a variação nos pedidos em todos os pontos, ao longo do fluxo de valor, seria pequena, refletindo a verdadeira variação do cliente (WOMACK; JONES, 2004).

2.2.6.8 DISTÂNCIA PERCORRIDA PELO PRODUTO

A distância percorrida pelo produto expressa o valor em quilômetros (km) de um agente a outro. Esta distância é importante para se compreender o tempo necessário para se realizar este percurso como os custos e processos envolvidos.

Um resumo das relações entre os indicadores e princípios pode ser observada no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 Medição da cadeia de suprimentos por Womack e Jones (2004)

	Estado atual	Estado futuro 1	Estado futuro 2	
LEAD TIME TOTAL	→			<p>Valor</p> <p>Cadeia de Valor</p> <p>Fluxo Contínuo</p> <p>Sistema Puxado</p> <p>Perfeição</p>
PORCENTAGEM DE AGREGAÇÃO DE VALOR (TEMPO)	→			
PORCENTAGEM DE AGREGAÇÃO DE VALOR (AÇÕES)	→			
GIRO DE ESTOQUE	→			
DEFEITOS	→			
FALHAS NA ENTREGA	→			
ÍNDICE DE AMPLIFICAÇÃO DE DEMANDA	→			
DISTÂNCIA PERCORRIDA PELO PRODUTO	→			

2.2.7 **LEAN THINKING APLICADO À CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Vários autores têm estudado a aplicação dos conceitos do *Lean thinking* focados na otimização do fluxo de suprimentos aplicado no setor da construção civil (PICCHI, 2003; KOSKELA, 1992; TOMMELEIN, 1999; VRIJHOEF, 1999; KOSKELA, 1999).

As fontes de desperdícios têm sido investigadas por vários autores, envolvendo a aplicação de conceitos *Lean* ao longo de várias cadeias de suprimentos no setor da construção civil (VRIJHOEF, 1998; VRIJHOEF *et al.*, 2001; ARBULU; TOMMELEIN, 2002; AZAMBUJA, 2002; LONDON; KENLEY, 2000; SHIMIZU; JOBIM; JOBIM FILHO, 2001; POLAND; BALLAND, 2003; FONTANINI, 2004).

O'Brien (1995) tem se dedicado ao estudo de cadeia de suprimentos da construção, dentre os vários trabalhos publicados sobre o assunto, apresentou um estudo de caso realizado em empresas norueguesas (O'BRIEN,1999), enfocando aspectos ligados à produção, inventários e custo de transporte e desempenho na cadeia de suprimentos. O autor também analisou aspectos de trocas compensatórias entre empresas.

Smook, Melles e Welling (1996) realizaram um estudo na Holanda com o intuito de discutir a importância da cadeia de fornecimento na construção civil como um ponto importante para a difusão da filosofia do *Lean Construction*.

Tommelein e Li (1999) realizam uma abordagem da cadeia de suprimentos sob o contexto de um sistema de produção *JIT (Just-in-time)* para a construção, utilizando a cadeia de fornecedores de concreto como caso de estudo para destacar a necessidade de uma estratégia logística para garantir que os objetivos iniciais do *JIT* sejam alcançados.

Os autores Tommelein e Weissenberger (1999) estudaram a cadeia de suprimentos da construção civil e a aplicação do sistema de produção *JIT*. Este

estudo investiga as freqüentes folgas (*buffers*) encontradas na cadeia de fornecimento de aço estrutural para obras. São apresentadas estratégias para a adoção desta folga, restrições e limitação de se manter estoques entre os processos envolvidos, e os benefícios a serem obtidos após a adoção das práticas do *JIT*.

Vrijhoef e Koskela (1999) comentam as origens do conceito “gerenciamento da cadeia de fornecimento” (*Supply chain Management – SCM*), e sua aplicabilidade no setor da construção civil. Para os autores o SCM representa um conceito gerencial independente, que embora esteja no domínio, na maioria das vezes, da logística empresarial. O SCM tem como intuito tornar visíveis os desperdícios ao longo da cadeia de suprimentos e realçar as características do fluxo de suprimentos da construção civil, e facilitar o entendimento e a solução dos problemas básicos encontrados no fluxo de suprimentos da construção civil.

Holzemer, Tommelein e Li (2000) apresentaram um estudo de caso onde conceitos de logística são aplicados no gerenciamento do fluxo de material e no fluxo de informações entre funcionários de fábrica e os instaladores de campo, em sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado na construção civil.

Uma estratégia alternativa é apresentada por Childerhouse *et al.* (2000) para o entendimento do fluxo de suprimentos da cadeia de fornecedores, para a construção de edifícios. Inicialmente é feita uma revisão do fluxo de valor da cadeia de fornecedores dos edifícios abertos (edifícios que utilizam componentes modulares) no Reino Unido, identificando o caminho crítico de atividades que compõem o gerenciamento da cadeia de fornecedores.

Um estudo de caso da cadeia de suprimentos da construção civil, para fornecimento de materiais elétricos, foi relatado por Crutcher *et al.* (2001). Este estudo envolveu uma parceria estratégica entre empresas da cadeia em questão (Fornecedor – Distribuidor – Cliente). Entre os benefícios alcançados estão: redução de atividades que não agregavam valor dentro da cadeia de suprimentos, redução de estoques, aplicação do sistema *JIT*, redução de custos

fixos e redução dos custos totais. O ciclo do pedido, para o cliente, que era de cerca de 90 dias, caiu para apenas 63 dias, notando-se uma economia considerável acerca de 25%.

Taylor e Björnsson (2002) estudaram o fluxo de suprimentos na indústria americana para a construção de casas, observando que a cadeia de fornecimento para a construção deste tipo de empreendimento não foi projetada para facilitar a produção em massa de casas. Os mesmos autores destacam que recentemente *USBuild Corporation* tem visado integralizar o fornecimento de materiais e informações dentro da cadeia, através da utilização da *Internet*, sistemas de informação e um novo canal de distribuição para integrar as informações e fluxo de materiais. Este canal de distribuição de informação recebeu o nome de “*e-chain*”. A intenção deste trabalho foi avaliar o impacto que a *Internet* e os sistemas de informação têm no fluxo de valor da cadeia de fornecedores da construção civil.

Polat e Ballard (2003) estudaram a cadeia de suprimentos do aço para a execução de concreto armado na indústria da construção civil da Turquia. Para a elaboração deste estudo, realizaram visitas às firmas envolvidas na cadeia de suprimentos e aplicaram diversas entrevistas aos participantes da cadeia. As informações coletadas foram compiladas no mapeamento do fluxo de valor da cadeia do componente analisado, baseado no estudo anterior realizado por Arbulu e Tommelein (2002). Através da análise de cinco configurações diferentes, conclui-se que há atrasos e interrupções no fluxo de informação.

Azambuja e Formoso (2003) e Azambuja (2002) discutem o processo de suprimentos de elevadores para a construção civil. Os autores acreditam que a aplicação de conceitos do gerenciamento da cadeia de suprimentos pode possibilitar o desenvolvimento de soluções alternativas para os problemas existentes no fluxo de suprimentos no setor de construção civil. Mas para isso, é necessário identificar os agentes participantes de cada um dos processos envolvidos dentro do fluxo de suprimentos, e a partir desta identificação levantou-se os principais problemas encontrados dentro do fluxo de suprimentos. Estes autores constataram que muitos problemas encontrados eram problemas

de práticas de cooperação adotadas, ausência de coordenação e integração do fluxo de materiais e informações entre os agentes da cadeia, indicando inúmeras oportunidades para a aplicação dos conceitos de gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Em todos estes trabalhos apresentados, observou-se uma preocupação com a estrutura da cadeia de suprimentos da construção civil, e de que forma pode-se buscar a redução de desperdício nos fluxos de materiais e de informação. Este desperdício freqüentemente é observado nas interfaces entre processos e no relacionamento entre disciplinas e organizações, e pode assumir muitas formas ao longo da cadeia de suprimentos.

2.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E INDICADORES EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS

Uma das formas para a avaliação do desempenho da cadeia de suprimentos é a determinação de indicadores para a medição de seu desempenho como um todo. A definição de indicadores de desempenho para a medição da eficiência e eficácia da cadeia ainda é uma grande lacuna do conhecimento, conforme apresentado por Lee e Billington (1992). Tal lacuna deve-se também ao fato do sistema conter numerosos agentes envolvidos com seus processos e fluxos (de materiais e informações), e que nem sempre compartilham dos mesmos objetivos e metas. O entendimento desta complexidade e sua representação numérica representam um paradigma para as empresas envolvidas, uma vez que o compartilhamento de informações ainda não é uma prática comum entre os integrantes do sistema.

Uma grande dificuldade apontada pelos estudos de gerenciamento logístico integrado das cadeias de suprimentos tem sido compreender as empresas participantes e suas logísticas internas de forma sistêmica, como parte integrante da complexa logística da cadeia de suprimentos. Para auxiliar na compreensão destes sistemas, os indicadores de desempenho surgem como uma forma de tentar monitorar e gerenciar aspectos importantes do sistema (GASPARETTO, 2004).

Acredita-se que a cadeia de suprimentos necessita ser monitorada e avaliada através de indicadores que reflitam os principais aspectos a serem analisados. Segundo Chow *et al.* (1994), não se consegue avaliar uma cadeia de suprimentos a partir de um único indicador, o desempenho de uma cadeia logística deve ser avaliado multidimensionalmente, ou seja, sob diversos pontos de vista. Os mesmos autores também realizaram uma pesquisa sobre o tema de avaliação de desempenho logístico, e constataram uma variedade de definições e indicadores existentes sobre o tema.

Já com relação ao monitoramento dos indicadores de desempenho da cadeia de suprimentos, os estudos comprovam que não existe uma tradição de monitoramento de indicadores da logística externa das empresas, bem como, das interações da empresa junto aos outros agentes da cadeia (LAMBERT; POHLEN, 2001).

Em geral, as empresas têm interesse maior em controlar os indicadores de logística interna e indicadores que representem o nível de serviço de atendimento dos seus clientes, bem como apenas os indicadores de atendimento dos pedidos de seus fornecedores.

Segundo Holmberg (2000), as empresas que utilizam indicadores internos para avaliar o desempenho de suas atividades externas de logísticas necessitam desenvolver uma nova forma de avaliação de desempenho para a cadeia de suprimentos. Para a realização de uma avaliação global seria necessário desenvolver indicadores externos e internos simultaneamente para se avaliar o desempenho do todo, de modo que as empresas consigam atingir um retorno financeiro maior dentro da cadeia de suprimentos a que pertencem.

Indicadores que consigam avaliar a cadeia de suprimentos como um todo é raro, bem como os indicadores de logística interna e outras medidas funcionais não refletem adequadamente o escopo da cadeia de suprimentos (CAPLICE; YOSSI, 1995 *apud* LAMBERT; POHLEN, 2001).

Para Lambert e Pohlen (2001), existe uma grande dificuldade em se estabelecer indicadores e estratégias para o gerenciamento da cadeia de suprimentos. Tal dificuldade pode ser explicada a partir de diversos fatores, entre os quais:

- Ausência de indicadores que mensurem o desempenho da cadeia como um todo;
- Ausência de indicadores internos que permitam o entendimento da cadeia de suprimentos da empresa em questão sob a perspectiva da cadeia de suprimentos como um todo;

- Necessidade de se estabelecer um inter-relacionamento entre a empresa e o desempenho da cadeia à qual ela pertence;
- Grau de complexidade do gerenciamento da cadeia de suprimentos (cadeia de suprimentos formada por inúmeros agentes);
- Falhas no alinhamento das atividades, medição de desempenho da cadeia de suprimentos e compartilhamento de informação para definição e implementação da estratégia adequada para atingir os objetivos;
- Falta de compartilhamento dos benefícios entre os agentes e suas camadas na cadeia de suprimentos;
- Falta de diferenciação nas cadeias de suprimentos para obtenção de vantagem competitiva;
- Falta de encorajamento de comportamentos cooperativos entre agentes.

A complexidade da cadeia de suprimentos requer diferentes abordagens para o planejamento de indicadores e medição de desempenho. Para Lambert e Pohlen (2001), no caso da manufatura, a cadeia de suprimentos pode ser representada por uma árvore, onde as raízes são os fornecedores, e os galhos, os clientes e consumidores. A complexidade da maioria dos elos da cadeia de suprimentos dificulta o entendimento de como ocorrem as múltiplas atividades em suas camadas e sua influência em cada uma das mesmas.

A cadeia de suprimentos tem buscado apresentar um novo foco, onde seus integrantes tentam compartilhar seus conjuntos de indicadores de desempenho e fluxo de informações com o intuito de se obter ganhos nos indicadores de desempenho globais da cadeia e dos seus suprimentos (LEE, 2000).

Mas, ainda assim, os indicadores empregados, não refletem o desempenho da cadeia de suprimentos e tem feito muito pouco pelas cadeias de suprimentos em si (LEE; BILLINGTON, 1992; LAMBERT; POHLEN, 2001).

Segundo Arbulu e Tommelein (2002), o desempenho da cadeia de suprimentos pode ser medido através de diferentes tipos de indicadores em

diferentes casos. Exemplos dessas métricas são: *Lead times*, o tempo de aprovação dos desenhos detalhados para o início da fabricação, o tempo de fabricação de peças, o tempo de entrega dos peças no site, o tempo do transporte dos peças até a sua finalidade: a instalação. Observa-se que com a aliança de fornecedores, a padronização dos desenhos e do sistema CAD, o processo de aprovação de desenhos detalhados podem diminuir drasticamente o *Lead time* de cada um dos processos.

Os autores Kagioglou, Cooper e Aouad (2001) apresentaram um estudo onde estabelecem uma relação entre indicadores de desempenho e a complexa cadeia de suprimentos da construção civil. Para os autores, os fornecedores devem ser considerados como parte integral do projeto e da composição do tempo total.

Para Beamon (1999) e Kagioglou; Cooper; Aouad (2001), invariavelmente, os indicadores definidos sempre devem estar ligados à estratégia e às metas da empresa.

2.3.1 INDICADORES DE DESEMPENHO PARA CADEIA DE SUPRIMENTOS EM GERAL

Ao analisarmos a cadeia de suprimentos, devemos primeiramente compreender o desempenho de cada um dos seus agentes. A somatória do desempenho de cada um dos agentes envolvidos influenciará no desempenho da cadeia de suprimentos como um todo, bem como resultará no *Lead time* da cadeia de suprimentos também. Nesta seção, apresentam-se estudos e uma coletânea de indicadores sugeridos para a avaliação do desempenho da cadeia de suprimentos sob seus diferentes pontos de vista.

2.3.1.1 MODELO SCOR DE INDICADORES DE DESEMPENHO

O modelo *SCOR* (*Supply Chain Operations Reference*) ou modelo de referência das operações da cadeia logística, distribuição, fornecimento e

suprimentos, foi criado pelo *Supply Chain Council* em 1996 (SCC, 2009). Atualmente, o modelo *SCOR* encontra-se na sua nona atualização e vem sendo amplamente utilizado nos diversos segmentos industriais para a medição da cadeia de suprimentos como um todo. O Modelo *SCOR* adota o conceito de modelo de negócio, porém a partir da construção de um modelo de referência.

O modelo de processo de referência (Figura 2.10) integra princípios da reengenharia de processos, *benchmarking*, indicadores para a medição de desempenho de processos, práticas de gerenciamento para a obtenção de melhores resultados, e o emprego de *softwares* para o auxílio do gerenciamento de informações.

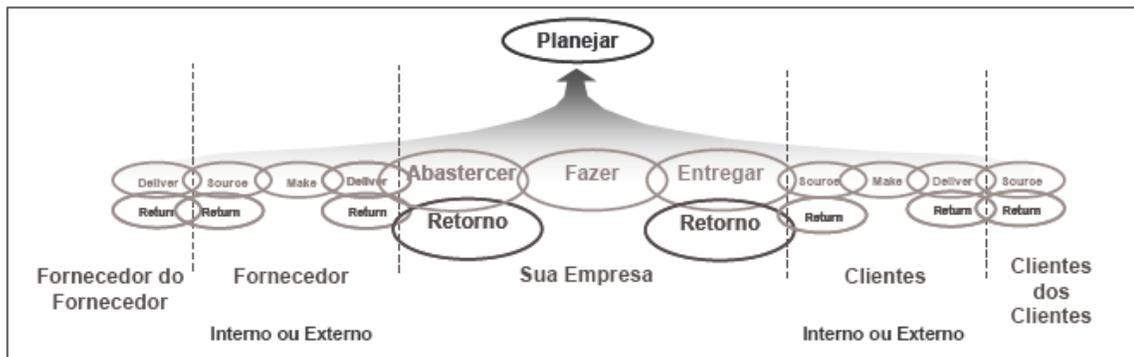


Figura 2.10 Modelo SCOR 7.0, Fonte: Supply-Chain Council (2005)

O modelo *SCOR* analisa os cinco processos de gerenciamento de negócios da cadeia de suprimentos:

- **Planejar** - No escopo do processo de planejamento e gerenciamento do abastecimento e da demanda como modelo de referência tem-se: a definição de recursos, a demanda, o planejamento de estoques, a distribuição, a produção e o planejamento de capacidade;
- **Abastecer** – A aquisição de matéria-prima, a qualificação e a certificação de fornecedores, monitorando a qualidade, a negociação de contratos com vendedores e o recebimento de materiais;
- **Fabricar** – Fabricar o produto final, testando e embalando, fazer mudanças nos processos, no lançamento e na apropriação de produtos;

- **Entregar** – O gerenciamento do pedido e de crédito, o gerenciamento do armazém, do transporte, da expedição e do atendimento. A criação de uma base de dados dos consumidores, produtos e preços;
- **Retorno** – Da matéria-prima, do produto acabado, manutenção, reparos e inspeção.

O objetivo da aplicação do modelo *SCOR* é alinhar a demanda do mercado com o nível de serviço oferecido pelas empresas, a partir de indicadores que possibilitem o gerenciamento dos cinco processos principais mencionados.

2.3.2 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Além do modelo *SCOR*, e da medição de desempenho para a cadeia de suprimentos *Lean*, propostos por Womack e Jones (2004), outros autores, tais como, Hijjar, Gervásio e Figueiredo (2005), Durski (2003), Goldsby e Martichenko (2005), entre outros, desenvolveram estudos e evidenciaram a medição do desempenho da cadeia de suprimentos, a partir de diversos indicadores, como um fator de competência crítica. Baseados nos autores pesquisados foram elaborados diversos quadros, com os principais indicadores para a medição de desempenho da cadeia de suprimentos. Em função da diversidade de indicadores, propôs-se agrupar os indicadores encontrados por finalidade e importância: serviço ao cliente, custo, produtividade e gerenciamento de estoque.

2.3.2.1 INDICADOR DE SERVIÇO AO CLIENTE

O indicador de nível de serviço é destacado por vários autores como um dos mais relevantes indicadores a ser observado para a avaliação de desempenho da cadeia de suprimentos. O nível de serviço ao cliente é uma composição de medidas de desempenho que varia de empresa para empresa. O nível de serviço ao cliente é medido pela qualidade percebida pelo cliente final ao receber o pedido demandado (Quadro 2.2 e 2.3).

Segundo Frazelle (2001), um dos indicadores utilizados para a medição do nível de serviço da cadeia de suprimentos como um todo, é “o pedido perfeito”. Este indicador se refere aos indicadores de desempenho de cada uma das atividades logísticas relacionadas com o processamento dos pedidos, incluindo aspectos de disponibilidade, de correção dos produtos entregues, de cumprimento do prazo acordado, precisão no faturamento, na documentação, na embalagem correta, etc.

Womack e Jones (2004) destacaram a importância da utilização deste indicador para a avaliação do desempenho da cadeia de suprimentos.

O pedido perfeito é um indicador que agrupa o serviço logístico em uma única medida. Para que o indicador do pedido perfeito seja atendido em sua totalidade, o pedido necessita ser entregue na quantidade, qualidade e prazo requeridos, no momento da execução do pedido. Além do pedido perfeito, o indicador de nível de serviço, agrupa outros conjuntos de indicadores que merecem destaque: disponibilidade, velocidade de ciclo do pedido, consistência do prazo de entrega, sistema de distribuição, recuperação de falhas, sistema de Informação de apoio, suporte do produto, qualidade na entrega, global.

Quadro 2.2 Indicadores de Serviço ao cliente, adaptado de Hijjar, Gervásio e Figueiredo (2005)

Indicadores	Elemento	Medida
Serviço ao Cliente	Disponibilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Freqüência de falta de estoque (BOWERSOX, 2001); (WOMACK; JONES, 2004) • % de pedidos completos (EMERSON; GRIMM, 1996), (BOWERSOX, 2001); • Precisão dos pedidos enviados (LAMBERT; HARRINGTON; EMERSON; GRIMM, 1989); • % de itens fora do estoque/ total de itens estocados (BOWERSOX <i>et al.</i>, 1986); • Número de pedidos com um ou mais itens fora de estoque (BOWERSOX <i>et al.</i>, 1986); • Tempo de espera de recebimento de pendências (FLEURY; LAVALLE, 1997)
	Velocidade de ciclo do pedido	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de ciclo do pedido (EMERSON; GRIMM, 1996), (FLEURY; LAVALLE, 1997); (WOMACK; JONES, 2004) • Tempo médio decorrido em cada uma das atividades envolvidas no ciclo do pedido (BOWERSOX <i>et al.</i>, 1986); (WOMACK; JONES, 2004) • <i>Lead time</i> total (WOMACK; JONES, 2004) • Porcentagem de agregação de valor (tempo) (WOMACK; JONES, 2004)
	Consistência do prazo de entrega	<ul style="list-style-type: none"> • Consistência do tempo de ciclo do pedido/ Pontualidade (EMERSON; GRIMM, 1986); • Tempo de atraso médio (FLEURY; LAVALLE, 1997)
	Sistema de distribuição	<ul style="list-style-type: none"> • Esforço envolvido nas alterações de pedidos e habilidade da empresa em atender as solicitações (BOWERSOX <i>et al.</i>, 1986) • % de solicitações por condições especiais de entregas atendidas (FLEURY; LAVALLE, 1997)
	Recuperação de falhas	<ul style="list-style-type: none"> • Número de pedidos com problemas (BOWERSOX <i>et al.</i>, 1986) • % de pedidos que resultam em reclamação (BOWERSOX <i>et al.</i>, 1986), (FLEURY; LAVALLE, 1997); • Motivos de reclamação (FLEURY; LAVALLE, 1997); • Tempo para resolução de problemas (BOWERSOX <i>et al.</i>, 1986; FLEURY; LAVALLE, 1997) • Porcentagem de falhas (WOMACK; JONES, 2004)

Quadro 2.3 Indicadores de Serviço ao cliente, adaptado de Hijjar, Gervásio e Figueiredo (2005)

Indicadores	Elemento	Medida
Nível de Serviço	Sistema de informação de apoio	<ul style="list-style-type: none"> • Informação da data de entrega projetada no momento da colocação do pedido (GRIMM, 1996); • Fornecimento de informação sobre a disponibilidade no momento da colocação do pedido (LEVY <i>apud</i> EMERSON; GRIMM, 1996); • Informação antecipada de cancelamento ou atraso (FLEURY; LAVALLE, 1997); • Qualidade do atendimento (facilidade de colocação de pedido, agilidade na confirmação, cordialidade) (FLEURY; LAVALLE, 1997); • % das solicitações de informação de status atendidas (FLEURY; LAVALLE, 1997); • • Tempo de demora para fornecer informação sobre status dos pedidos (FLEURY; LAVALLE, 1997).
	Suporte do produto	<ul style="list-style-type: none"> • % das solicitações de informações sobre produtos atendidas (FLEURY; LAVALLE, 1997); • • Tempo de demora para fornecer informação sobre os produtos (FLEURY; LAVALLE, 1997).
	Qualidade na entrega	<ul style="list-style-type: none"> • % de ocorrência de itens incorretos em um pedido (BOWERSOX <i>et al.</i>, 1996) (FLEURY; LAVALLE, 1997); • Envio de pedidos para o local errado (BOWERSOX <i>et al.</i>, 1996); • Cordialidade, presteza na entrega (FLEURY; LAVALLE, 1997); • Fidelidade das transportadoras (COOPER <i>et al</i> <i>apud</i> EMERSON; GRIMM, 1986) • Qualidade do Produto (DURSKI, 2003) • Qualidade de entrega (WOMACK; JONES, 2004) • Distância percorrida pelo produto (WOMACK; JONES, 2004)
	Global	<ul style="list-style-type: none"> • Pedido perfeito (FRAZELLE, 2001); (WOMACK; JONES, 2004)

2.3.2.2 INDICADOR DE CUSTO

As empresas realizam o controle dos custos individuais, sendo que gerenciamento logístico das empresas acompanha os indicadores de custo de atendimento ao cliente. Entretanto, quando se analisa custo da cadeia de suprimentos, outros custos podem adquirir relevância, tais como, custo do gerenciamento do estoque, custo administrativo, custo de mão-de-obra, entre outros (Quadro 2.4).

Hijjar, Gervásio e Figueiredo (2005), destacaram em sua pesquisa que a análise do custo total requer que todos os custos relevantes para a operação sejam mensurados, além de a alta administração reconhecer a existência de *trade-offs*, para se entender que em geral é preciso manter uma posição abaixo do ótimo para que as outras atividades logísticas do sistema possam operar com eficiência ótima.

Quadro 2.4 Indicadores de Custo, adaptado de Hijjar, Gervásio e Figueiredo (2005)

Indicadores	Elemento	Medida
Custo	Custo Total	<ul style="list-style-type: none"> • Custo Total (CLM, 1995), (BOWERSOX; CLOSS, 2001); • Custo Total como percentual das vendas (CLM, 1995);
	Custos Funcionais	<ul style="list-style-type: none"> • Custo do frete de suprimentos (CLM, 1995), (BOWERSOX; CLOSS, 2001); (GOLDSBY; MARTICHENKO, 2005) • Custo de frete de distribuição (CLM, 1995), (BOWERSOX; CLOSS, 2001); (DURSKI, 2003); (GOLDSBY; MARTICHENKO, 2005) • Custo de carregar de estoque (CLM, 1995), (BOWERSOX; CLOSS, 2001); • Custos administrativos (CLM, 1995), (BOWERSOX; CLOSS, 2001); • Custo de processamento de pedidos (CLM, 1995), (BOWERSOX; CLOSS, 2001); • Custo de Mão-de-Obra direta (CLM, 1995), (BOWERSOX; CLOSS, 2001); (DURSKI, 2003); (GOLDSBY; MARTICHENKO, 2005) • Custo de mercadorias devolvidas (CLM, 1995); • Custo de produtos estragados (CLM, 1995); • Custo de falhas na prestação de serviço (CLM, 1995); • Custo como percentual das vendas (CLM, 1995), (BOWERSOX; CLOSS, 2001); • Valor real versus orçado de cada custo (CLM, 1995), (BOWERSOX; CLOSS, 2001); • Análise das tendências de cada custo (CLM, 1995), (BOWERSOX; CLOSS, 2001) • Custos com armazém e movimentação (DURSKI, 2003); (GOLDSBY; MARTICHENKO, 2005) • Custos com aluguel de equipamentos (DURSKI, 2003); (GOLDSBY; MARTICHENKO, 2005) • Custos com o sistema de informação (DURSKI, 2003); (GOLDSBY; MARTICHENKO, 2005)
	Custeio ABC	<ul style="list-style-type: none"> • Rentabilidade por cliente ou segmento de clientes (CLM, 1995); • Rentabilidade direta do produto (CLM, 1995), (BOWERSOX; CLOSS, 2001).

2.3.2.3 INDICADOR DE PRODUTIVIDADE

Os indicadores de produtividade são utilizados para monitorar os processos de saída e entradas através da aplicação de trabalho (Quadro 2.5).

Segundo Hijjar, Gervásio e Figueiredo (2005), a produtividade pode ser medida tanto no nível macro, quanto no micro. A medição no nível macro se refere aos indicadores de desempenho para o total das instalações das operações de um grupo. Dentre estas medidas, podem ser citadas as despesas operacionais sobre o valor total das mercadorias processadas ou sobre o valor das mercadorias recebidas, ou até mesmo, sobre o valor das mercadorias despachadas.

No nível micro, as métricas são aquelas relacionadas diretamente a uma determinada operação: número de *pallets* movimentados por hora, número de unidades separadas ou empacotadas por hora ou quantidade de pedidos processados por hora, entre outras.

Quadro 2.5 Indicadores de Produtividade, adaptado de Hijjar, Gervásio e Figueiredo (2005)

Indicadores	Elemento	Medida
Indicadores de Produtividade	Produtividade no nível micro	<ul style="list-style-type: none"> • Produtividade da mão-de-obra do armazém (CLM, 1995); • Unidades expedidas por funcionário (BOWERSOX; CLOSS, 2001), (CLM, 1995); • Unidades por unidade monetária de mão-de-obra (BOWERSOX; CLOSS, 2001), (CLM, 1995); • Produtividade de mão-de-obra no transporte (CLM, 1995); • Ociosidade do equipamento (CLM, 1995); • Número de pedidos por representante de vendas (BOWERSOX; CLOSS, 2001), (CLM, 1995) • Qualidade do processo produtivo (DURSKI, 2003)
	Produtividade no nível macro	<ul style="list-style-type: none"> • Total de despesas operacionais/ valor total de mercadorias processadas (BOWERSOX; CLOSS, 2001); • Total de despesas operacionais/ Valor total das mercadorias recebidas ou despachadas (BOWERSOX; CLOSS, 2001); • Receita de Vendas – Valor consumido na operação (STAINER, 1997); • Output total/ (<i>input</i> total de mão-de-obra + material + capital + energia + outros) (STAINER, 1997).

2.3.2.4 INDICADOR DE GERENCIAMENTO DE ESTOQUE

O indicador de gerenciamento de estoque busca uma forma orientada para o monitoramento do desempenho. Alguns exemplos de indicadores de gerenciamento de estoque são (Quadro 2.6):

Quadro 2.6 Indicadores de Estoques, adaptado de Hijjar, Gervásio e Figueiredo (2005)

Indicadores	Elemento	Medida
Estoques	Indicadores para gerenciamento de Estoques	<ul style="list-style-type: none">• Nível de estoque (BOWERSOX; CLOSS, 2001), (CLM, 1995); (DURSKI, 2003); (WOMACK; JONES, 2004)• Giro de estoque (BOWERSOX; CLOSS, 2001), (CLM, 1995); (DURSKI, 2003); (WOMACK; JONES, 2004)• Obsolescência (BOWERSOX; CLOSS, 2001), (CLM, 1995); (GOLDSBY; MARTICHENKO, 2005)• Custos com armazém e movimentação; (DURSKI, 2003); (GOLDSBY; MARTICHENKO, 2005)• Custos com aluguel de equipamentos; (DURSKI, 2003); (GOLDSBY; MARTICHENKO, 2005)

Para Bonelli e Fonseca (2001), o modelo de avaliação de cadeias de suprimentos deve considerar os seguintes parâmetros:

- Necessidade de identificar e estabelecer indicadores para cada fator condicionante;
- Competitividade, relacionada à dimensão empresarial, que engloba: produtividade, qualidade, capacidade gerencial, logística interna, *marketing* e capacidade de inovação;
- Necessidade do acompanhamento global, o que não implica na condição de desconhecer o desempenho de cada um dos elos, que no conjunto são determinantes da competitividade da cadeia; o acompanhamento individual possibilita a identificação de elos críticos ou gargalos e de oportunidades e desafios, que após a implementação de melhorias, representarão ganhos de competitividade na cadeia como um todo;
- Necessidade de um modelo de indicadores que sejam passíveis de comparação, seja em relação a si próprio ou à sua evolução em relação a

indicadores equivalentes de indústrias similares, nacionais ou de outros países, consideradas *benchmark*.

Os indicadores propostos devem considerar a necessidade de se atender a dimensão empresarial e, nesse sentido, vincula indicadores e índices a grupos específicos relacionados à: competitividade, qualidade, produtividade, custos, inovação e *marketing*.

Durski (2003) destacou a importância de mensurar as melhorias e ações implementadas na cadeia de suprimentos através de indicadores, pois somente desta forma é possível medir os resultados e adotar as medidas corretivas caso as medidas implementadas não estejam trazendo resultados satisfatórios.

Para Holmberg (2000), o interesse no monitoramento do desempenho da cadeia de suprimentos vem crescendo rapidamente entre as empresas de todo o mundo em função das pressões competitivas e de se que trabalhar cooperativamente pode criar vantagens.

Ao buscar a melhoria de desempenho da cadeia de suprimentos como um todo. As empresas de um modo geral têm desenvolvido medidas, para monitorar o desempenho da cadeia, relacionadas a custos, serviço ao cliente e qualidade. Outras medidas também podem ser observadas, tais como: tempo do ciclo dos processos, e valor do estoque total na cadeia de suprimentos (CLM, 1995).

Remko (1998) sugere que a mensuração da cadeia de suprimentos seja realizada da seguinte forma:

- Definição da extensão da cadeia;
- Elaboração dos indicadores a serem monitorados;
- Desenvolvimento de ferramentas que avaliem a mensuração na cadeia e assegurem o comprometimento dos executivos com a melhoria dos processos.

Apesar do grande interesse sobre o tema, diversos autores alegam que são necessárias mais pesquisas, principalmente em relação às barreiras que existem na implementação de indicadores que avaliem a cadeia de suprimentos.

Para Lima (2001), para que os indicadores possam efetivamente ajudar na tomada de decisão, é imperativo que sejam de fácil obtenção, compreensão, comparação e não sejam ambíguos. Um indicador deve ser criado criteriosamente, de forma a assegurar a disponibilidade dos dados e resultados mais relevantes no menor tempo possível e ao menor custo.

Através da revisão bibliográfica, podem-se observar as diversas alternativas de medição segundo diferentes perspectivas. Cada indicador apresentado oferece suas vantagens e desvantagens, facilidades e dificuldades de implementação, adquirindo sentido em função dos objetivos que são estabelecidos pelos agentes da cadeia de suprimentos.

2.3.3 INDICADORES SELECIONADOS PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

O sistema da avaliação de desempenho da cadeia de suprimentos deve considerar aspectos estratégicos e funcionais de todos os agentes envolvidos, bem como a relevância dos indicadores adotados e as características de cada um dos agentes. A importância dos indicadores pode variar de acordo com a posição do agente na cadeia de suprimentos analisada. Embora exista esta diferença de importância nos agentes e indicadores, é importante ressaltar a necessidade da visão sistêmica na escolha dos indicadores da cadeia de suprimentos, pois o desempenho de cada um dos agentes afeta a cadeia como um todo.

Segundo BEAMON (1996) o sistema de avaliação de desempenho deve possuir:

- **Abrangência** – os indicadores de desempenho ou o sistema de avaliação devem ser capazes de medir todos os aspectos pertinentes da cadeia.

Assim como uma empresa pode utilizar o custo de produção como um indicador de desempenho.

- **Universalidade** – O sistema de indicadores escolhido deve permitir a comparação entre diferentes cadeias de suprimentos em uma variada faixa de condições operacionais.
- **Mensurabilidade** – Os dados requeridos para o sistema de avaliação devem estar sempre disponíveis. Desta forma, o processo de avaliação de desempenho deve ocorrer com o mínimo de erros e um custo razoável.
- **Consistência** – os indicadores de desempenho escolhidos devem refletir a política da organização e do sistema avaliado.

A partir da revisão bibliográfica, e das considerações apresentadas por BEAMON (1996), para a continuidade da pesquisa, foram selecionados quatro indicadores para a avaliação do desempenho da cadeia de suprimentos nos estudos de caso e quatro indicadores complementares. Os indicadores são apresentados a seguir, com a argumentação quanto à relevância dos mesmos:

2.3.3.1 INDICADOR DE LEAD TIME (UNIDADE DE MEDIÇÃO: DIAS):

Justificativa: Segundo o LÉXICO (2003), o *Lead time* é o tempo requerido para um produto se movimentar por todas as etapas de um processo, do início ao fim. No nível da planta, isso é frequentemente chamado de tempo “porta-a-porta”. O conceito também se aplica ao tempo requerido para que um projeto progrida do início ao fim do desenvolvimento do produto, ou para que um produto caminhe de matéria-prima até produto acabado.

Os autores ARBULU e TOMMELEIN (2002), ALVES e TOMMELEIN (2008) e WOMACK e JONES (2004), indicaram o *Lead time*, como o principal indicador a ser acompanhado, para mensurar o desempenho da cadeia de suprimentos como um todo, e baseado nestes estudos, adotou-se este indicador, em no estudo de casos, para realizar a medição do desempenho da cadeia estudada.

Para os estudos de caso foi adotado um lead time baseado apenas em estoques, desprezando-se o tempo de processamento da produção. Adotou-se esta simplificação, devido ao tempo de processamento ser proporcionalmente muito pequeno se comparado aos estoques observados.

Metodologia sugerida de acompanhamento: Na pesquisa, espera-se obter o indicador de *Lead time* através da aplicação da metodologia para a elaboração do Macro Mapa de Fluxo de Valor (MMFV) para a cadeia de suprimentos como um todo. Este mapa permite visualizar facilmente os tempos de produção e tempos de transportes envolvidos na cadeia de suprimentos como um todo a partir da aplicação dos princípios enxutos.

2.3.3.2 INDICADOR DE NÍVEL DE SERVIÇO (UNIDADE DE MEDIÇÃO: PORCENTAGEM)

Justificativa: Os autores estudados no capítulo de revisão bibliográfica, tais como FRAZELLE (2001) apontam o nível de serviço como a medição do “pedido perfeito”, que seria a entrega do pedido no prazo, com qualidade e em quantidade ideais para o cliente.

Os autores TEIXEIRA (1992) e DURSKI (2003) também referenciam o acompanhamento deste indicador como de grande relevância para o acompanhamento global da cadeia de suprimentos.

E os autores WOMACK e JONES (2004) referenciam o indicador de nível de serviço como o indicador que irá medir as entregas perfeitas pelas entregas totais realizadas para os clientes.

Ainda outros autores, HAMMER e CHAMPY (1994), comentam sobre a necessidade das empresas, pertencentes à cadeia de suprimentos, monitorarem os indicadores relativos do serviço, e como mantê-los em níveis satisfatórios.

Metodologia sugerida de acompanhamento: Nesta pesquisa, será medido este indicador a partir das coletas de dados obtidas em cada um dos agentes envolvidos, e será realizada a multiplicação dos indicadores individuais

obtidos para se obter uma medição geral de nível de serviço da cadeia como um todo.

2.3.3.3 INDICADOR DE GIRO DE ESTOQUE (UNIDADE DE MEDIÇÃO: NÚMERO DE VEZES DE REPOSIÇÃO DO MATERIAL)

Justificativa: Baseada na pesquisa realizada na revisão bibliográfica, os autores BOWERSON e CLOSS (2001), CLM (1995), DURSKI (2003), TEIXEIRA (1992) E WOMACK e JONES (2004), enfatizam a necessidade de se medir os estoques existentes dentro de cada um dos agentes da cadeia de suprimentos. Segundo BALLOU (2006), o controle de giros de estoque tem sido amplamente empregado e tem grande importância por permitir o controle coletivo de grandes grupos. O procedimento de controle dos giros de estoque têm sido um dos indicadores mais praticados, para analisar o desempenho dos agentes e da cadeia de suprimentos como um todo, de acordo com o mesmo autor. BALLOU (2006) salienta que a medição deste indicador se deve indubitavelmente à pronta disponibilidade de dados (balanços financeiros da empresa) e à simplicidade do próprio indicador: giros de estoque.

Metodologia sugerida de Acompanhamento: Segundo o LÉXICO (2003), o “giro de estoque” é uma medida de velocidade dos materiais que estão se movimentando por uma planta ou por um fluxo completo de valor, é calculado pela divisão do número de dias do ano pela quantidade de estoque existente. Provavelmente o método mais comum de se calcular os giros de estoque é a utilização do custo anual dos produtos vendidos (antes de ser adicionado as despesas gerais administrativas e de vendas) como numerador, dividido pela média anual dos estoques. Na pesquisa, irá se adotada a metodologia apresentada acima no LÉXICO (2003), para a medição dos giros de estoque.

2.3.3.4 INDICADOR DE ESTOQUE FÍSICO (UNIDADE DE MEDIÇÃO: UNIDADES MONETÁRIAS E DIAS DE ESTOQUE)

Justificativa: Os autores Womack e Jones (2004) ressaltam a importância de se analisar os estoques na cadeia de suprimentos, quando se necessita

identificar os desperdícios existentes na cadeia de suprimentos e em cada um dos agentes. Os estoques podem ser encontrados no início do fluxo (matéria-prima), no processo e no final do fluxo de produção (produtos acabados). Os mesmos autores também classificam os estoques em três categorias: estoques de segurança, a fim de prevenir o não-atendimento das necessidades dos clientes, devido a problemas na capacidade do processo nas etapas anteriores do fluxo; estoques pulmão, itens estocados, normalmente na etapa final do fluxo de uma planta ou de um processo, a fim de proteger os clientes, caso haja um súbito aumento de demanda por um determinado cliente; e estoques de entrega, itens que esperam o embarque na etapa final do fluxo de uma planta, armazenados para a expedição seguinte, são geralmente proporcionais aos tamanhos dos lotes e das freqüências das remessas.

Metodologia sugerida de acompanhamento: Para realizar a medição deste indicador será realizado o MFV de cada um dos agentes, e posteriormente, o MMFV da cadeia de suprimentos como um todo.

2.3.4 INDICADORES COMPLEMENTARES SELECIONADOS

Estes indicadores também foram identificados como importantes para o acompanhamento do desempenho da cadeia de suprimentos como um todo, a partir do levantamento bibliográfico realizado, mas por impossibilidade de obtenção de dados para a realização da modelagem nos estudos de caso, não serão contemplados neste trabalho. O trabalho aponta para a consideração dos mesmos em futuros estudos de simulação em outras cadeias de suprimentos.

2.3.4.1 INDICADOR DE TEMPO DE VALOR AGREGADO (UNIDADE DE MEDIÇÃO: DIAS)

Justificativa: Segundo o LÉXICO (2003), o tempo dos elementos de trabalho que realmente transformam o produto de uma maneira tal que faça com que o cliente se disponha a pagar. Normalmente, o tempo de agregação de valor é menor do que o tempo de ciclo, que por sua vez, é menor do que o *Lead time* de produção. Os autores, ARBULU e TOMMELEIN (2002), DURSKI (2003) e WOMACK e JONES (2004), estudados no capítulo da revisão bibliográfica, identificaram o tempo de valor agregado como um dos indicadores globais importantes a serem acompanhados. Autores como DURSKI (2003) apontam a importância de se considerar esta variável como um indicador para a cadeia de suprimentos analisada. Autores como, ALVES e TOMMELEIN (2008), comentam sobre a importância de se utilizar indicadores para mensurar tempos e estoques mantidos dentro do sistema analisado.

Metodologia sugerida de acompanhamento: Para a obtenção do indicador de tempo de valor agregado, elabora-se o desenho do MMFV, e da informação que aparece na parte inferior do mapa que evidencia o tempo gasto na produção e entrega do produto e o tempo real para a transformação do produto em questão.

2.3.4.2 INDICADOR DE QUALIDADE DA ENTREGA (UNIDADE DE MEDIÇÃO: PORCENTAGEM)

Justificativa: Os autores estudados na revisão bibliográfica, FRAZELLE (2001), FLEURY e LAVALLE (1997), apontam para a necessidade de se fazer a medição da qualidade da entrega do produto final para o cliente, e sugerem alguns indicadores: % de ocorrência de itens incorretos em um pedido, correção da embalagem e cordialidade e presteza na entrega. Estes itens estão diretamente ligados à qualidade da entrega. Os autores BOWERSOX *et al.* (1996), acreditam que a qualidade pode ser medida a partir da porcentagem de envio de pedido para o local errado. EMMERSON e GRIMM (1986) comentam que a qualidade será medida a partir da definição dos indicadores de: cooperação do motorista na entrega e fidelidade das transportadoras. DURSKI (2003) também destaca a importância da análise da qualidade do produto entregue através da avaliação de três aspectos; qualidade do produto entregue, qualidade do processo produtivo e qualidade dos fornecedores. E os autores WOMACK e JONES (2004) comentam em se avaliar a qualidade do produto final, medindo o número de falhas na entrega no final do fluxo pelo número de falhas no início do fluxo. Todos os autores, citados são unânimes em destacar a necessidade de se avaliar a qualidade do produto apresentado para o cliente final. Em função da pesquisa realizada, decidiu-se adotar este indicador complementar para se avaliar as condições do produto entregue para o cliente final.

Metodologia sugerida de acompanhamento: Para acompanhar este indicador, mede-se o número de entregas realizadas satisfatoriamente pelo número de entregas totais realizadas, em cada um dos agentes, e posteriormente, na cadeia como um todo, a partir da somatória dos indicadores individuais, dividido pelo número de agentes envolvidos.

2.3.4.3 INDICADOR DE CUSTO TOTAL DO PRODUTO (UNIDADE DE MEDIÇÃO: UNIDADE MONETÁRIA)

Justificativa: O indicador de custo é destacado pelos seguintes autores: BOWERSON e CLOSS (2001) E DURSKI (2003). TEIXEIRA (1992) também o apontou como um indicador muito importante a medição do custo de produção do produto ofertado pela cadeia de suprimentos. **Metodologia sugerida de acompanhamento:** Para a obtenção do indicador de custo total do produto, mede-se o custo em seu aspecto global, sem decompor os custos, para identificar apenas se houve uma diminuição do custo total do produto para cada um dos agentes, em função da aplicação das ferramentas *Lean* propostas.

2.3.4.4 INDICADOR DE OBSOLESCÊNCIA NO ESTOQUE (UNIDADE DE MEDIÇÃO: UNIDADES MONETÁRIAS)

Justificativa: Autores como GOLDSBY e MARTICHENKO (2005), que cadeias de suprimentos complexas criam desperdícios complexos também. A falta de planejamento e dimensionamento ocasiona excesso de produção ou compras desnecessárias de matéria-prima ou de outros produtos que, muitas vezes, não são aproveitados nos processos produtivos e acabam se tornando obsoletos. Os mesmos autores apontam a importância de se medir este estoque, pois existe um custo para a sua manutenção dentro do sistema analisado. Além de ser um forte indicador de falta de planejamento dentro do sistema avaliado.

Metodologia sugerida de acompanhamento: Para a obtenção do indicador de obsolescência do estoque, mede-se o valor total de peças obsoletas e divide-se pelo valor total de peças, matéria-prima e produtos acabados em cada um dos agentes analisados.

2.3.5 FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Diversos fatores influenciam o desempenho da cadeia de suprimentos e, portanto, impactam em seus indicadores. A seguir são discutidos fatores significativos para o desempenho.

2.3.5.1 EFEITO CHICOTE

O efeito chicote pode impactar diretamente nos indicadores de desempenho da cadeia de suprimentos, pois conforme foi definido na seção anterior, o efeito chicote pode ser caracterizado como uma distorção no fluxo de informação, e desta forma resulta em inúmeros desperdícios ao longo da cadeia de suprimentos (Quadro 2.7).

Quadro 2.7 - Indicadores e o efeito chicote (CHOPRA; MEINDL, 2003)

INDICADORES DE DESEMPENHO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	IMPACTO DO EFEITO CHICOTE
Custo de fabricação	Aumenta
Custo de Estoque	Aumenta
<i>Lead time</i> de ressuprimento	Aumenta
Custo de Transporte	Aumenta
Custo de embarque e recebimento	Aumenta
Nível de disponibilidade do produto	Diminui

Os autores Chopra e Meindl (2003) apresentaram uma análise dos possíveis impactos do efeito chicote nos indicadores de desempenho na cadeia de suprimentos.

- a) **Indicador de custo de fabricação** – Neste indicador, o efeito chicote pode criar um excesso de capacidade de produção (superprodução) ou a armazenagem de estoques em excesso para atender às demandas flutuantes. Estas duas opções apresentadas impactam diretamente no custo de fabricação por unidade produzida.

- b) **Indicador de volume/ custo de estoque** – O efeito chicote e sua decorrente incerteza no fluxo de informações e variabilidade da demanda fazem com que os agentes da cadeia de suprimentos mantenham um nível de estoque elevado para amortecer o impacto do recebimento de matérias-primas e expedição de produtos acabados. Entretanto, o alto nível de estoque implica em inúmeros desperdícios: desde mais espaços em depósitos e armazéns até o custo de gerenciamento de armazenagem.
- c) **Indicador de *Lead time* da Cadeia de Suprimentos como um todo** – O efeito chicote somado à variabilidade crescente de informação dentro da cadeia contribuem para a dificuldade de os cronogramas das empresas e de seus fornecedores serem seguidos em comparação a uma situação onde as informações são compartilhadas totalmente e de forma estável. Existem períodos na cadeia de suprimentos que a capacidade de produção e os estoques disponíveis não são capazes de atender aos pedidos que são requisitados. O resultado desta situação é o aumento do *Lead time* na cadeia de suprimentos como um todo.
- d) **Indicador de custo de transporte** – O efeito chicote e a falta de coordenação dos agentes da cadeia podem ocasionar uma oscilação de demanda de transporte ao longo do tempo. Isso acarreta em um aumento no custo de transporte, porque a capacidade excedente de transporte precisa ser mantida para os períodos de alta demanda.
- e) **Indicador de custo de mão-de-obra** (Embarque, Desembarque, transporte interno no *site*) – O efeito chicote faz com que as atividades descritas oscilem de acordo com os pedidos da cadeia de suprimentos. A mesma necessidade pode ser observada em vários agentes da cadeia de suprimentos. Os agentes têm a opção de manterem um excesso de mão-de-obra para acompanhar as oscilações dos pedidos.

- f) **Indicador de nível de serviço** – O efeito chicote e as grandes oscilações dos pedidos tornam improvável que a empresa seja capaz de satisfazer aos pedidos de todos os distribuidores e agentes no tempo pré-determinado. Isso aumenta as chances de os agentes sofrerem escassez de estoque, levando à perda de vendas para a cadeia de suprimentos.

Forrester (1961) analisou o impacto das variações de demanda, a partir de um sistema da produção-distribuição de três camadas. O autor derivou um modelo não-linear detalhado da cadeia de suprimentos para simular os cenários causais, para analisar o impacto do efeito chicote no sistema estudado.

2.3.5.2 FLUXO DE INFORMAÇÃO

Os obstáculos no processamento do fluxo de informações referem-se a situações em que as informações de demanda são distorcidas à medida que circulam entre os diferentes agentes da cadeia de suprimentos, levando a uma variabilidade maior dos pedidos.

Quando as previsões são baseadas nos pedidos recebidos, a variabilidade na demanda do cliente é ampliada conforme os pedidos dirigem-se à parte superior da cadeia de suprimentos, para fabricantes e fornecedores. Em cadeias de suprimentos que apresentam o efeito chicote, os meios de comunicação fundamentais entre os diferentes elos são os pedidos que são feitos. Cada agente vê seu papel na cadeia de suprimentos como aquele que atende aos pedidos feitos por seu parceiro. Desta forma, cada estágio enxerga sua demanda como sendo o conjunto de pedidos recebidos e então faz a previsão com base nesse dado (CHOPRA; MEINDL, 2003).

De acordo com Chopra e Meindl (2003), um aumento circunstancial na demanda do cliente junto ao agente pode causar um grande impacto. O agente da cadeia de suprimento pode interpretar parte desse aumento como uma

tendência de crescimento. Esta interpretação errônea faz com que o pedido do agente seja superior ao crescimento da demanda observada anteriormente, porque ele espera que o crescimento continue no futuro e faz os pedidos antecipando-se a esse suposto crescimento. O aumento do pedido feito ao atacadista é assim maior que o aumento observado na demanda do agente. Uma vez que o atacadista não tem como interpretar as informações do agente, o atacadista fará um pedido maior ao fabricante. À medida que avançamos na parte superior da cadeia de suprimentos, o tamanho do pedido vai sendo ampliado e os estoques de material e mão-de-obra ampliados por sua vez.

Uma opção de gestão da cadeia de suprimentos seria a informação compartilhada entre os elos próximos, ou seja, fornecedor e cliente imediatos. Na segunda opção, a informação da demanda do consumidor na fase final é distribuída a todas as empresas que compõem a cadeia, que se somando às informações internas de seus processos, compõem sua política de produção e estoque. Em uma terceira opção, há o compartilhamento total das informações entre as empresas parceiras buscando, por meio de uma coordenação descentralizada e negociações entre as empresas, o alinhamento dos objetivos do negócio, procurando tendências e padrões ao longo do tempo no lugar de soluções pontuais. Nesta última forma o negócio da cadeia é gerenciado como um sistema que integra fluxo de materiais e informações entre os membros, que têm como objetivo comum o nível de serviço adequado e competitivo oferecido ao consumidor final, com o menor custo.

Segundo Oliveira e Carvalho (2004), a melhoria de desempenho de uma cadeia de suprimentos pode vir pela redefinição do processo físico ou do processo de decisão. O último tem como elemento principal o compartilhamento da informação, este é o caminho para a redução de custos, aumento de flexibilidade e obtenção de respostas mais rápidas e efetivas para os clientes.

O mesmo fenômeno descrito anteriormente ocorre em períodos onde há reduções circunstanciais na demanda. Ao analisar pela mesma lógica de previsão, através de pedidos, o agente irá interpretar como uma tendência de declínio e

reduzir o tamanho do pedido. Essa redução também pode ser amplificada através da cadeia de suprimentos, reduzindo também o nível de atendimento de cada um dos agentes da cadeia até o consumidor final. Conclui-se que existe uma falta de compartilhamento das informações, além dos pedidos que são repassados com estoques de segurança, para minimizar as falhas que ocorrem no fluxo de informação (CHOPRA; MEINDL, 2003).

A falta de compartilhamento de informações entre os vários agentes da cadeia de suprimentos amplifica o efeito chicote. Os agentes da cadeia de suprimentos ficam com estoques de produtos acabados e matérias-primas que nem sempre estão de acordo com a demanda do agente-cliente. Esta falta de compartilhamento de informações entre os agentes leva a uma grande oscilação dos pedidos feitos pelo fabricante aos seus fornecedores (CHOPRA; MEINDL, 2003).

A filosofia da mentalidade enxuta sugere que o fluxo de informações seja compreendido e representado pelos Mapa de Fluxo de Valor (MFV) e MFV administrativo (REIS, 2004), para que seja possível observar os gargalos e possíveis pontos de melhoria no processo como um todo.

2.3.5.3 TAMANHO DOS LOTES

Muitas empresas optam por fazer grandes pedidos devido ao custo fixo que está associado aos processos administrativos para a emissão de notas; ao recebimento e ao transporte dos pedidos; ou mesmo por que o fornecedor oferece descontos maiores baseando-se na quantidade adquirida pelo cliente. Pedidos em lotes grandes levam a fluxos de pedidos muito mais irregulares que os fluxos de demanda (CHOPRA; MEINDL, 2003).

2.3.5.4 POLÍTICAS E TIPOS DE ESTOQUES

Para Chopra e Meindl (2003), o estoque é um componente fundamental da cadeia de suprimentos, pois mudanças em suas políticas podem alterar significativamente a eficiência e a capacidade de resposta da cadeia. Ao definir a

política de estoque de uma empresa, deve-se ponderar a estratégia adotada: um estoque bem dimensionado possibilita ao fornecedor atender imediatamente à demanda do cliente, porém, como resultado, os custos são maiores; já a redução do estoque implica em investimentos na eficiência de entrega, que em consequência terá também um aumento de custos. Uma cadeia de suprimentos eficiente minimiza os estoques para reduzir custos e uma cadeia de suprimentos para respostas rápidas mantém estoques regulares para atender à demanda inesperada.

Aumentando-se os pontos de estocagem dentro da cadeia de suprimentos e a média do estoque de segurança em cada ponto, obtém-se um melhor nível de serviço prestado ao cliente, considerando-se que o seqüenciamento dos lotes de produção sejam executados de acordo com a demanda dos clientes em cada elo da cadeia de suprimentos. Em contrapartida, o custo para promover este serviço aumenta, sendo cada vez mais significativo, conforme percorremos a cadeia de valor no sentido crescente. Como regra geral, um melhor desempenho implica em maior investimento nos custos logísticos.

2.3.5.4.1 POLÍTICA DE ESTOQUE

O estoque também deve ser entendido como dependente do fluxo de informação dentro da cadeia de suprimentos. O fluxo de informação dentro de uma empresa deve conter todas as informações necessárias para o desenvolvimento de todos os processos transformadores (WOMACK; JONES, 2004). Quanto maior for a visibilidade da cadeia de suprimentos, como sistema de informação, maior será a confiabilidade destas informações e menor serão os níveis de estoque entre os elos.

2.3.5.4.2 TIPOS DE ESTOQUE

- a) Estoque cíclico – O estoque cíclico pode ser definido como uma quantidade média de estoque destinada a satisfazer a demanda existente entre entregas consecutivas do fornecedor.

- b) Estoque de segurança – O Estoque de segurança é criado para servir de segurança no caso da demanda exceder as expectativas e serve para combater a incerteza. Quanto maior a incerteza de demanda, normalmente, maior é a necessidade de manter estoques de segurança.
- c) Estoque sazonal – O estoque sazonal é criado para minimizar a variabilidade previsível da demanda. Muitas empresas adotam o estoque sazonal, armazenam matéria-prima ou produtos em períodos de baixa demanda para os períodos de demanda elevada, quando não têm capacidade de produzir o volume requerido pelo mercado. No caso da empresa conseguir se adaptar rapidamente à demanda do cliente, a mesma não mais precisará de estoques sazonais.

Ao se analisar os impactos do efeito chicote no desempenho da cadeia de suprimentos, consideram-se todos os processos envolvidos, desde a compra de matéria-prima do fornecedor da fábrica até a entrega do produto final ao consumidor no agente. Este efeito tem um grande impacto nos indicadores quando cada agente tenta minimizar seus desperdícios isoladamente, e acaba gerando estoques desnecessários em suas entradas e saídas.

Normalmente esta situação pode ocorrer quando existem incentivos focados apenas em um impacto local, que leva os dirigentes a tomarem decisões que não maximizam os lucros totais da cadeia de suprimento (CHOPRA; MEINDL, 2003).

Womack e Jones (2004) observaram que não se pode otimizar um processo isoladamente, pois o ritmo de todos os processos deve ser o mesmo de forma a criar a estabilidade no fluxo de materiais e de informações, e desta forma promover a estabilidade de toda a cadeia de suprimentos.

2.4 MODELOS DE SIMULAÇÃO

2.4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO

Um modelo de simulação pode ser classificado em: determinísticos, estocásticos, estáticos e dinâmicos.

2.4.1.1 MODELOS DETERMINÍSTICOS

Nos modelos determinísticos não se permite às variáveis exógenas e endógenas serem variáveis randômicas. As características operacionais devem ser relações exatas e não funções de densidade de probabilidade.

Os modelos determinísticos são menos computacionalmente exigentes que os modelos estocásticos. Estes modelos podem freqüentemente ser resolvidos por técnicas como a do cálculo de máximos e mínimos (técnica analítica). Os métodos analíticos são mais eficientes que os métodos de simulação na resolução de problemas determinísticos.

2.4.1.2 MODELOS ESTOCÁSTICOS

Os modelos estocásticos são definidos quando pelo menos uma das características operacionais é dada por uma função de probabilidade. Geralmente são mais complexos que modelos determinísticos. Deste modo, a simulação é mais adequada como método de análise e solução para os modelos estocásticos. Os modelos estocásticos são adequados à geração randômica de dados para serem utilizados nos estágios de observação ou de testes.

2.4.1.3 MODELOS ESTÁTICOS

Modelos estáticos não consideram a variável de tempo. Nas pesquisas operacionais, geralmente a maioria dos trabalhos nas áreas da programação linear, não linear e na teoria dos jogos, têm sido relacionadas com modelos

estáticos. No entanto, o uso de simulação pode não ser recomendado pelo fato de que a maioria dos modelos estáticos é completamente determinística. Assim, as soluções podem normalmente ser obtidas por técnicas analíticas diretas.

2.4.1.4 MODELOS DINÂMICOS

Os modelos matemáticos que tratam de interações variáveis com o tempo são chamados modelos dinâmicos (ocorrência de uma ordem temporal entre eventos).

2.4.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS QUANTO ÀS MUDANÇAS QUE SOFREM SUAS VARIÁVEIS DE ESTADO

Os modelos de um sistema podem ser classificados como modelos de mudança discreta e modelos de mudança contínua. Estes termos descrevem o modelo e não o sistema. Um sistema pode ser modelado tanto através de um modelo de mudança discreta (ou discreto) quanto um modelo de mudança contínua (ou contínuo).

O tempo é a principal variável independente de um modelo de simulação dinâmico. As demais variáveis podem ser consideradas como funções do tempo, portanto, são variáveis dependentes.

As variáveis de estado do sistema são classificadas de acordo com os valores que tomam ao longo da simulação. Os modelos dinâmicos são classificados conforme os instantes de tempo em que as variáveis de estado têm seus valores alterados. Um modelo é discreto se todas as variáveis de estado têm seus valores alterados apenas em um número contável de instantes de tempo. Um modelo é contínuo, se todas as variáveis de estado têm seus valores alterados a qualquer instante de tempo. Um modelo é misto se algumas variáveis de estado têm os seus valores alterados a qualquer instante de tempo e outras apenas em um número contável de instantes de tempo.

Modelo de mudança discreta: é aquele em que as variáveis dependentes variam discretamente em pontos específicos do tempo simulado, referidos como tempo de evento. A variável de tempo pode ser contínua ou discreta em tais modelos, dependendo se as mudanças discretas nas variáveis dependentes podem ocorrer em qualquer ponto do tempo real ou unicamente em pontos predeterminados.

Modelo de mudança contínua: é aquele em que as variáveis dependentes podem variar continuamente ao longo do tempo simulado. Um modelo contínuo pode ser tanto contínuo no tempo ou discreto no tempo, dependendo se os valores das variáveis dependentes estão sempre disponíveis em qualquer ponto do tempo simulado, ou apenas em pontos específicos. Algumas vezes pode ser útil modelar um sistema discreto por um modelo contínuo, considerando as entidades do sistema como um agregado e não como entidades individuais.

Modelo de mudança combinada: é aquele em que as variáveis dependentes podem variar discretamente, continuamente, ou continuamente com saltos discretos superpostos. A variável tempo pode ser discreta ou contínua.

O aspecto mais importante de uma simulação combinada surge nas mudanças de variações discretas para contínuas e vice-versa. Uma linguagem de simulação combinada deve conter meios de detectar tais ocorrências e modelar suas conseqüências.

Em resumo, chama-se de simulação discreta o exercício de um modelo discreto. De forma análoga, de simulação contínua ao exercício de um modelo contínuo. E, de simulação combinada ao exercício de um modelo combinado.

2.4.2.1 MODELAGEM PARA SIMULAÇÃO DISCRETA

Os objetos em um sistema discreto são chamados entidades. Existem vários tipos de entidade e cada uma tem vários tipos de características ou atributos. Embora possam estar envolvidas em diferentes tipos de atividades,

pode ser conveniente agruparmos as entidades baseados em um atributo comum. Grupos de entidades são chamados arquivos ou conjuntos.

O objetivo de um modelo para simulação discreta é reproduzir as atividades das entidades engajadas e, a partir daí, conhecer algo sobre o comportamento e desempenho do sistema. Isto é conseguido quando definimos os estados do sistema e construímos atividades que o movem de um estado a outro. O estado de um sistema é definido em termos de valores numéricos dados aos atributos das entidades. Um sistema está em determinado estado, quando todas as suas entidades estão em estados consonantes com o domínio dos valores dos atributos que definem aquele estado.

Em simulação discreta, o estado do sistema só pode mudar nos tempos de eventos. Uma vez que o estado do sistema permanece constante entre tempos de eventos, uma descrição completa do estado do sistema pode ser obtida avançando o tempo simulado de um evento a outro. A formulação de um modelo para simulação discreta pode ser realizada de três formas:

- Pela definição das mudanças nos estados que podem ocorrer em cada tempo de evento;
- Pela descrição das atividades nas quais as entidades do sistema se envolvem e;
- Pela descrição do processo através do qual as entidades do sistema fluem.

Um evento acontece em um ponto isolado do tempo, no qual decisões devem ser tomadas de forma a iniciar ou terminar uma atividade. Um processo é uma seqüência ordenada de eventos e pode englobar várias atividades. Estes conceitos levam naturalmente a três alternativas de visão de um modelo para simulação discreta:

- Modelagem orientada a evento
- Modelagem orientada ao exame da atividade
- Modelagem orientada a processo

2.4.2.1.1 SIMULAÇÃO ORIENTADA A EVENTO

Na simulação orientada a evento, um sistema é modelado pela definição das mudanças que ocorrem no tempo de evento. A tarefa do modelador é determinar os eventos que podem causar a mudança no estado do sistema e então desenvolver a lógica associada com cada tipo de evento. A simulação do sistema é produzida pela execução da lógica associada a cada evento, em uma seqüência ordenada no tempo.

2.4.2.1.2 SIMULAÇÃO ORIENTADA AO EXAME DA ATIVIDADE

Neste caso, o modelador descreve as atividades nas quais as entidades do sistema estão engajadas e prescreve as condições que causam o início e o fim de uma atividade. Os eventos que iniciam ou terminam uma atividade não são escalonados pelo modelador, mas iniciados a partir das condições especificadas para a atividade. À medida que o tempo simulado avança as condições para início ou fins de uma atividade são examinados. Para nos assegurarmos de que cada atividade é levada em consideração, é necessário examinar todo o conjunto de atividades a cada avanço do tempo.

2.4.2.1.3 SIMULAÇÃO ORIENTADA AO PROCESSO

Muitas estruturas de modelos para simulação incluem seqüências de eventos as quais ocorrem em padrões definidos, por exemplo, uma fila de entidades esperando por um servidor.

A lógica associada com tal seqüência de eventos pode ser generalizada e definida por uma única afirmação. Uma linguagem para simulação pode então traduzir tal afirmação na seqüência de eventos associada. Uma linguagem orientada a processo emprega tais afirmações para modelar o fluxo das entidades no sistema. Estas afirmações definem uma seqüência de eventos que é automaticamente executada pela linguagem de simulação.

2.5 INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS DE SYSTEMS DYNAMICS

System Dynamics é um conjunto de ferramentas conceituais que pode auxiliar a compreender a estrutura e a dinâmica de sistemas complexos. System Dynamics também é um método de modelagem que utiliza simulações em computador para definir organizações e políticas mais efetivas. Essas ferramentas permitem a criação de simuladores gerenciais (Sterman, 2000) – mundos virtuais onde espaço e tempo podem ser comprimidos e desacelerados de tal forma a permitir a experimentação de efeitos colaterais de longo prazo, aprendizado, e o projeto de estruturas e estratégias de alto desempenho.

2.5.1 ORIGEM E FORMALISMO

A origem da disciplina de System Dynamics é atribuída a Forrester (1962) iniciado cerca de 40 anos atrás no Massachusetts Institute of Technology. Suas origens encontram-se nas teorias de controle e dinâmica não linear. Portanto, existem fundamentos matemáticos para a teoria e modelos desenvolvidos nessa área.

As práticas de modelagem em System Dynamics podem ser utilizadas para melhorar a compreensão do desempenho de uma empresa, que está relacionado com a sua estrutura interna e políticas de operação, incluindo consumidores, competidores e fornecedores, a fim de arquitetar estruturas que permitam alcançar os objetivos pré-determinados.

Modelos dinâmicos são úteis para empresas e processos de negócio, para o entendimento da complexidade das relações e não linearidade que soluções analíticas. Nesse contexto, as ferramentas matemáticas têm aplicação limitada. A modelagem do relacionamento humano é bem diferente da modelagem de sistemas físicos. Portanto, além de uma base sólida em matemática de sistemas dinâmicos, modelar sistemas que envolvem seres humanos, também requerem

conhecimento em psicologia, tomada de decisão, e comportamento organizacional.

2.5.2 O PROCESSO DE MODELAGEM

O processo de modelagem dinâmica é iterativo, onde parte-se da definição do problema, construção do modelo de acordo com o formalismo desejado, e finalmente a definição de políticas de intervenção no sistema. A correta definição do problema é imprescindível. Os resultados de uma etapa podem levar à revisão de etapas anteriores. Modelagem efetiva envolve constante iteração entre experimentação e aprendizado no mundo real assim como os cenários criados.

2.5.3 COMPLEXIDADE E O PAPEL DA SIMULAÇÃO BASEADA EM COMPUTADOR

De acordo com Sterman (2000), a complexidade dinâmica pode surgir mesmo em sistemas com baixa complexidade combinatória, como é o caso de processos produtivos com operações simples, mas que apresentam quebras e atrasos no fluxo de informação suportando a tomada de decisão. Esse tipo de complexidade se deve a interações entre os agentes do sistema ao longo do tempo.

Autores defendem a modelagem matemática formal para conseguir o máximo de precisão quantitativa para definições preexistentes de problemas. Alguns argumentam ainda que a formalização analítica força a modelagem a omitir aspectos importantes do problema a fim de preservar a aplicabilidade, e permitir que teoremas sejam provados, ou mesmo omitir a inclusão de variáveis para as quais valores numéricos não existem.

Além de tais limitações sob o ponto de vista de modelagem, a complexidade dos modelos mentais envolvidos no projeto e análise de empresas e processos de negócio excede facilmente a capacidade de entender suas

implicações. Ou seja, modelos típicos são muito grandes e complexos para serem simulados mentalmente. Simulação baseada em computador, portanto, é o único meio prático de testar as hipóteses geradas.

A partir da modelagem, várias políticas de reposição de estoque podem ser testadas. Uma solução natural para a falta de estoque disponível inicialmente parece ser aumentar a velocidade de resposta dos sistemas a partir de uma política mais sensível às variações na demanda. Neste caso, suponhamos que essa sensibilidade seja duplicada. O resultado é que o sistema não retorna a um estado de equilíbrio, oscilando indefinidamente. Tais oscilações podem significar sérias dificuldades gerenciais em respeito ao gerenciamento dos recursos produtivos acompanhadas de prejuízo financeiro. Tudo isso acontecendo em um contexto onde a demanda, após o aumento inicial, permaneceu constante até o fim da análise. Uma situação relativamente simples, porém cada vez mais rara em um contexto globalizado.

Um princípio fundamental em System Dynamics explicita que a estrutura de um sistema determina o seu comportamento ou padrões de desempenho. Entretanto, as pessoas têm a forte tendência em atribuir o comportamento de outros indivíduos a fatores relacionados a humor, caráter, e disposição, ao invés de fatores situacionais tais como aqueles criados por restrições do próprio sistema no qual estão inseridos. A tendência em culpar a pessoa ao invés do sistema é tão grande que os psicólogos chamam isso de "erro fundamental de atribuição".

Em sistemas complexos, pessoas diferentes trabalhando sob a mesma estrutura, tendem a se comportar de maneira semelhante. Quando associamos comportamento às personalidades perderam de vista como a estrutura do sistema formatou nossas opções. Quando atribuímos o comportamento às pessoas e não ao sistema, o foco gerencial se torna a administração de conflitos e culpa ao invés do projeto e implementação de processos onde pessoas comuns podem atingir resultados extraordinários (Sterman, 2000).

2.6 SIMULAÇÕES APLICADAS ÀS CADEIAS DE SUPRIMENTOS

Há mais de quarenta anos, a simulação tem sido utilizada por pesquisadores para auxiliar na análise e dar suporte à pesquisa empírica.

A simulação consiste em empregar técnicas matemáticas em computadores com o propósito de emular um processo ou operação do mundo real. Desta forma, para se realizar uma simulação, é necessário construir um modelo computacional que corresponda à situação real que se deseja simular. São alguns casos clássicos que justificam a simulação:

- Para descrever o comportamento de um sistema. A simulação pode ser usada para mostrar como um sistema funciona, ao contrário de como as pessoas acreditam que funcione.
- Quando experimentar é dispendioso. Em casos em que uma experiência real seria onerosa, a simulação pode oferecer bons resultados sem a necessidade de grandes investimentos.
- Quando experimentar não é adequado. Exemplo: uma situação que traga risco de saúde para a sociedade.

Um sistema de variáveis consiste de componentes, entidades, partes ou elementos e as relações entre si. A integração entre tais componentes pode se dar por fluxo de informações, matéria ou energia.

A simulação matemática de um sistema é a tentativa de replicar ou imitar as formas do comportamento de um conjunto, sendo este existente ou não, através da construção de um modelo matemático desenvolvido com ferramentas computacionais (LIMA JUNIOR, 1999).

Dall'Agnol (2005) explica que o processo da simulação é imprescindível para se analisar sistemas logísticos, bem como as variáveis que influenciam o desempenho dos agentes envolvidos no sistema produtivo.

Para Oliveira e Carvalho (2004), a simulação é constituída por um processo de modelagem e um processo de experimentações sobre este modelo com o

propósito de avaliar o comportamento de um sistema real sob diferentes cenários de operação. Os autores ainda ponderam que os modelos de simulação são modelos de avaliação, e que a aplicação da simulação a uma cadeia de suprimentos envolve a modelagem de cada empresa e a representação da relação de negócio entre empresas.

Estudos têm usado os modelos de simulação para estudar os diferentes aspectos da cadeia de suprimentos, como a estabilidade da cadeia de suprimentos (BHASKARAN, 1998), efeitos de desempenho dos fatores operacionais (BEAMON; CHEN, 2001), e efeitos de amplificação de demanda.

Venkateswaran e Son (2004) definiram problemas comuns encontrados nos modelos de simulação da cadeia de suprimentos, ao fazerem a modelagem dinâmica dos elementos:

- Agregação das atividades de uma cadeia em uma única variável de atraso (por exemplo, o processo de manufatura inteiro é representado como uma variável aleatória);
- Ausência de ênfase específica nos sistemas de transporte;
- Normalmente, no modelo, as capacidades de transporte e de produção são consideradas infinitas, ao invés de se trabalhar com informações exatas;
- Os produtos são considerados disponíveis quando no lugar correto e momento adequado.

Os modelos da cadeia desenvolvidos sob tais suposições não fornecem análises corretas das operações da cadeia de suprimentos e nem refletem o cenário real.

Venkateswaran e Son (2004) fizeram um estudo onde estabeleceram uma comparação entre a qualidade dos resultados obtidos nos diferentes níveis de detalhamento da cadeia de suprimentos usando a simulação como ferramenta. Os autores argumentam que a simulação possibilita a construção de diversos módulos de simulação, que permitem o estudo em detalhes dos comportamentos

dos diversos segmentos do sistema. Os mesmos autores investigaram os efeitos quantitativos da cadeia de suprimentos.

2.6.1 MODELAGEM DOS PROCESSOS DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Segundo Dong (2001), o sistema de modelagem para a simulação deve permitir ao usuário:

- Especificar o modelo;
- Visualizar o modelo;
- Construir o programa de simulação;
- Documentar o sistema, o modelo e o programa de simulação.

2.6.2 VALIDAÇÃO DO MODELO SIMULAÇÃO

A validação é o processo que realiza a verificação do modelo de simulação com relação a sua representação exata do sistema real. Law (2005) e Law e MacComas (1998) propõe perspectivas gerais na validação (Figuar 2.11):

- Um modelo válido pode ser utilizado para tomar decisões similares àquelas que seriam tomadas se fosse realizada a implementação em um sistema real.
- A facilidade ou a dificuldade do processo de validação depende da complexidade do sistema que é modelado. Frequentemente é possível coletar dados em um sistema existente que possa ser usado para se construir e validar o modelo.
- Um modelo da simulação de um sistema complexo pode somente ser uma aproximação ao sistema real, o modelo é uma abstração e simplificação da realidade. Quanto mais tempo e recursos financeiros são gastos no

modelo, mais válido este será. Entretanto, o modelo mais válido não necessariamente será o de melhor custo-benefício.

- Por exemplo, o aumento da validação do modelo a partir de um determinado nível pode ser extremamente caro, os levantamentos de dados extensivos podem ser exigidos para melhorar significativamente a introspecção ou a tomada de decisões.
- Um modelo da simulação deve sempre ser desenvolvido para um conjunto particular dos objetivos. Portanto, um modelo construído e validado para um objetivo dificilmente será adaptado a outro.
- A validação deve ser realizada depois do modelo da simulação ter sido desenvolvido. Entretanto, Law (2005) adverte que esta recomendação nem sempre é seguida.

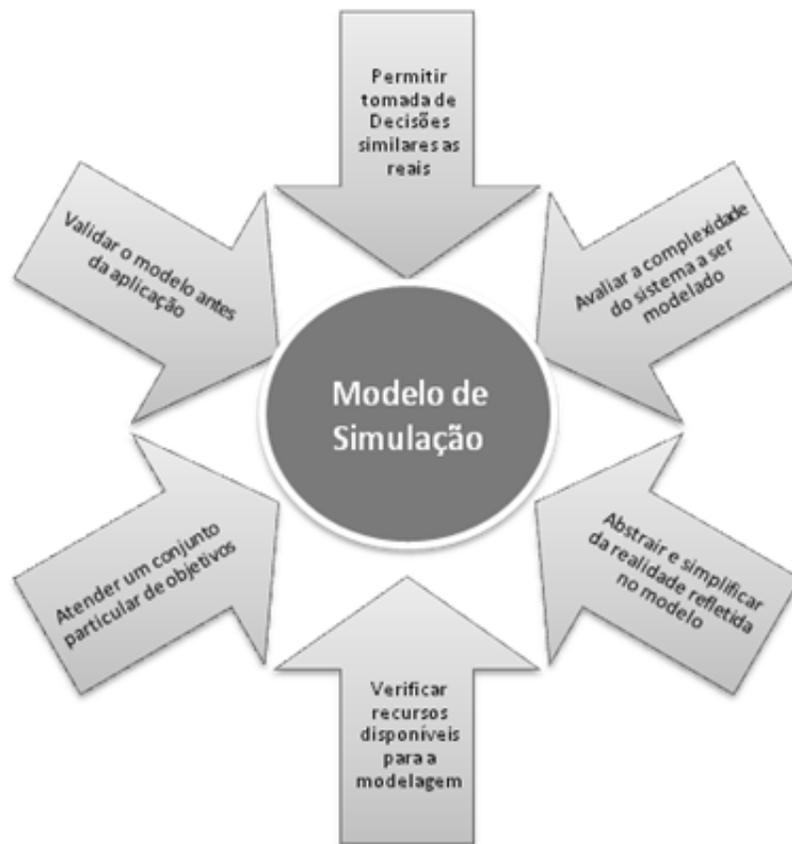


Figura 2.11 Recomendações para a realização da Simulação (LAW, 2005)

De acordo com Law e Kelton (2000), um modelo de simulação tem credibilidade dos resultados se o responsável pelas decisões ou o gerente de projeto validam o modelo como correto. O autor ainda adverte novamente que um modelo digno de crédito não é necessariamente válido, e reciprocamente. De acordo com os autores, alguns fatores estabelecem credibilidade para um modelo:

- Compreensão das suposições do modelo pelos responsáveis pelas decisões do projeto;
- Demonstração que o modelo foi validado e verificado (isto é, se o programa computacional está livre de erros);
- Envolvimento do responsável pelas decisões na concepção do modelo;
- Reputação dos desenvolvedores do modelo;
- Execução do modelo garantida.

Persson (2002) apresenta a seguinte seqüência de atividades para o desenvolvimento de uma simulação para a cadeia de suprimentos:

- Planejamento do Projeto: tempo dispensado para o planejamento do conjunto dos primeiros experimentos a serem realizados;
- Modelo Conceitual: uma parte da realidade, ou do sistema real, que descreve a situação atual em um fluxo ou documento. O objetivo principal é capturar o sistema lógico e os dados necessários para iniciar a atividade de simulação;
- Validação do modelo conceitual: o modelo conceitual é examinado e corrigido se necessário;
- Modelagem: o modelo conceitual é transformado em um modelo computacional. (Esta fase pode ser feita em linguagem de simulação ou em um *software* pronto);

- Verificação: a verificação ajuda na compilação do modelo computacional. O modelo deve ser corrigido se necessário;
- Validação: a validação ajuda a testar o modelo contra o sistema existente. O modelo deve ser corrigido se necessário;
- Análise de sensibilidade: o efeito das variáveis de entrada e as variáveis de saída devem ser analisados;
- Experimentação e análise dos dados de saída: os experimentos definidos devem ser rodados e os dados de saída coletados e analisados. Se houver necessidade, deve ser feito um novo conjunto de teste, e a experiência deverá ser repetida;
- Implementação: após análise dos dados de saída, são recomendadas mudanças para os responsáveis pela tomada de decisão para a verificação da possível implementação.

Law (2005) acredita que se pode dividir o processo de validação da simulação do modelo em sete grandes etapas (Figura 2.12):

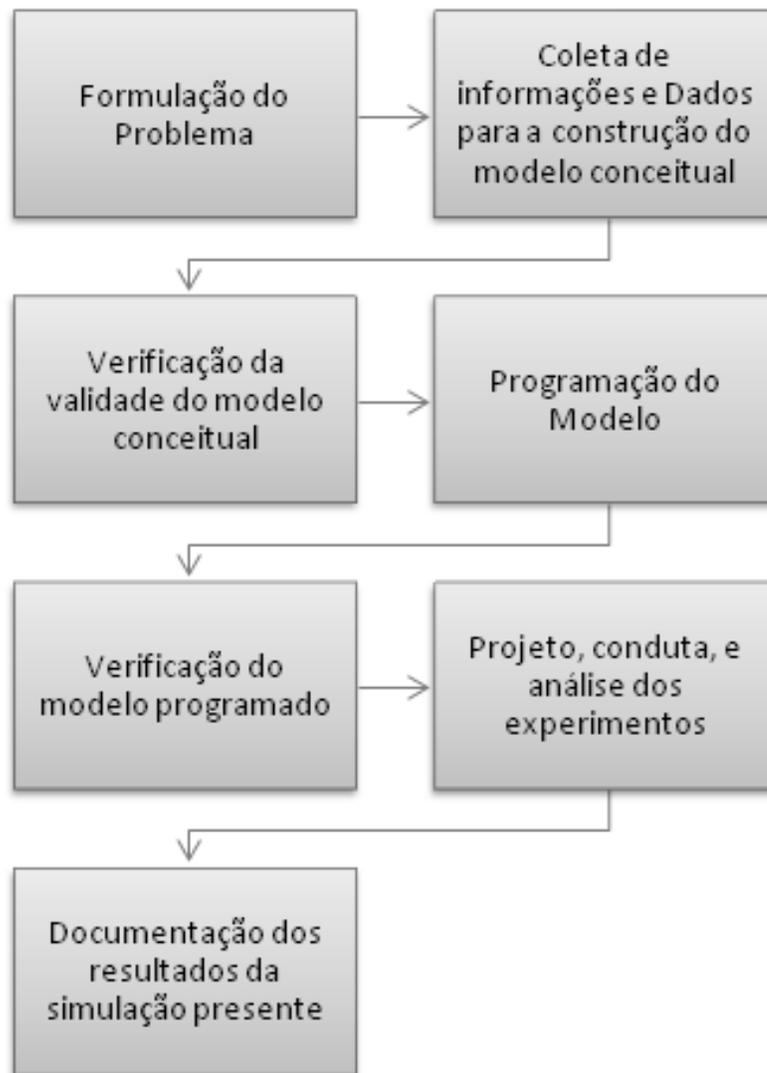


Figura 2.12 Processo de validação da simulação (LAW, 2005)

Baseando-se na revisão bibliográfica identificada, na seqüência será descrita cada uma das etapas.

2.6.2.1 ETAPA 1 – FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A questão de interesse a ser simulada é indicada para o responsável do projeto:

- Identificação precisa e quantitativa da questão ou problema;
- Cobrança da interatividade no processo.

Reuniões iniciais para o projeto de simulação são conduzidas pelo gestor do projeto, juntamente com os analistas de simulação e colaborador do tema. Os seguintes tópicos devem ser discutidos em reunião:

- Objetivos principais do estudo;
- Perguntas específicas a serem respondidas pelo estudo (sem tal especificidade é impossível determinar o nível apropriado de detalhe modelo);
- Medidas de desempenho que serão usadas para avaliar a eficácia do sistema com diferentes configurações;
- Escopo do modelo;
- Configurações do sistema a serem modeladas;
- Prazo para o estudo e os recursos requeridos (pessoal, *software*, etc).

2.6.2.2 ETAPA 2 – COLETA DE INFORMAÇÕES E DADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

- Coleta de informação do *layout* do sistema e procedimentos de operações;
- Coleta de dados para especificar os parâmetros do modelo e distribuições de probabilidade (Por exemplo, tempo de falhas e tempo de reparo de máquinas);
- Documentação das suposições do modelo, algoritmos, e resumos dos dados escritos no modelo conceitual;

- O nível de detalhamento do modelo conceitual depende dos seguintes fatores:
 - Objetivos do projeto;
 - Medidas de desempenho de interesse;
 - Disponibilidade de dados;
 - Credibilidade requerida;
 - Restrições do *software* utilizado;
 - Opiniões dos especialistas de simulação;
 - Restrições de tempo e recursos financeiros;
 - Coleta de dados do desempenho (saída) do sistema existente eventualmente para a utilização no modelo.

2.6.2.3 ETAPA 3 – VERIFICAÇÃO DA VALIDADE DO MODELO CONCEITUAL

- Execução de um procedimento estruturado do modelo conceitual antes da reunião com o gestor de projeto, analistas, e especialistas. Este procedimento é chamado de validação conceitual-modelo.
- Erros e omissões são descobertos no modelo conceitual (quase sempre ocorre), então o modelo conceitual deve ser atualizado antes da realização da programação.

2.6.2.4 ETAPA 4 - PROGRAMAÇÃO DO MODELO

- Programação do modelo conceitual em um pacote de *software* comercial em com a ajuda de uma linguagem geral de programação. Para esta pesquisa, a etapa de programação será realizada pelo input dos dados no *software* STELLA.

- Verificação do programa para não conter erros.

2.6.2.5 ETAPA 5 – VERIFICAÇÃO DO MODELO PROGRAMADO

- Comparação dos dados de saída do modelo de simulação com os dados coletados do sistema real. Este procedimento é chamado de validação de resultados.
- Não obstante, se há um sistema existente, os analistas e os especialistas em simulação devem revisar os resultados da simulação para a análise de uma adequação: se os resultados são consistentes com o que foi percebido no sistema, e como deve ser seu módulo de operação, então o modelo de simulação pode ser considerado validado.
- As análises de sensibilidade devem ser executadas no modelo programado para saber qual modelo tem um grande impacto nas medidas de desempenho. Desta forma, o mesmo deverá ser modelado cuidadosamente.

2.6.2.6 ETAPA 6 – PROJETO, CONDUTA E ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS

- Para a configuração do sistema de interesse, sempre se deve verificar a necessidade de decidir sobre questões táticas: período de duração e número de replicações independentes;
- A análise dos resultados e a decisão com relação à necessidade de novos experimentos adicionais.

2.6.2.7 ETAPA 7 – DOCUMENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PRESENTE

- A documentação para o modelo (o estudo de simulação associado) deve incluir o modelo conceitual (crítico para o futuro reuso do modelo), a descrição detalhada do modelo computacional e os resultados do estudo atual;
- A apresentação final para o estudo de simulação deve incluir uma animação e uma discussão do modelo de processo de construção e processo de validação para promover a credibilidade do modelo.

2.6.3 TÉCNICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE MODELOS VÁLIDOS

2.6.3.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Deve-se indicar de forma precisa o problema a ser resolvido, com uma lista de perguntas específicas que o modelo pretende responder, e as medidas de desempenho que serão utilizadas para se avaliar a eficácia das configurações do sistema. Sem uma indicação definitiva das perguntas específicas de interesse é impossível decidir qual é o nível apropriado do detalhe modelo. O estudo de simulação apresenta bom desenvolvimento quando o problema é compreendido completa e precisamente.

2.6.3.2 CONSULTA DE ESPECIALISTAS E COLABORADOR DO SISTEMA

Nunca haverá apenas uma pessoa conhecedora de todo o sistema de informação necessária para a construção do modelo de simulação. Desta forma, é imprescindível que se consulte os vários analistas e especialistas para se obter uma compreensão global e completa do sistema a ser modelado. Pode haver informações fornecidas pelos colaboradores que podem estar incompletas ou incorretas, pelo menos dois especialistas devem ser consultados.

2.6.3.3 INTERAÇÃO COM O RESPONSÁVEL PELA TOMADA DE DECISÕES

Uma das idéias mais importantes para desenvolver um modelo válido e digno de crédito é que o analista interaja com o responsável pelas decisões e outros membros da equipe de projeto com certa periodicidade. Esta aproximação tem os seguintes benefícios:

- A natureza exata do problema não pode ser inicialmente conhecida;
- O responsável pela tomada de decisão pode mudar os objetivos durante o curso do estudo;
- O interesse do responsável pela tomada de decisão e envolvimento no estudo é mantido;
- O modelo tem maior credibilidade porque o responsável pela tomada de decisão entende e acredita nas suposições do modelo.

2.6.3.4 TÉCNICAS QUANTITATIVAS PARA VALIDAR OS COMPONENTES DO MODELO

O analista da simulação deve usar técnicas quantitativas sempre que possível, testar a validade de vários componentes do modelo global. As séries de dados devem ser homogêneas, e podem ser fundidas e os dados combinados podem ser usados para alguma finalidade no modelo da simulação.

2.6.3.5 DOCUMENTAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

Os erros de comunicação e interpretação culminam na razão principal pela qual as simulações dos modelos contêm muito freqüentemente suposições inválidas. A documentação de todos os conceitos, suposições, algoritmos, e os sumários dos dados podem diminuir este problema, além de aumentar a credibilidade do modelo.

A documentação do modelo deve ser legível para os analistas da simulação e para os gerentes técnicos. Alguns fatores devem ser incluídos no modelo conceitual:

- Uma seção geral que discuta o projeto total, seus objetivos, questões específicas a serem abrangidas pelo modelo, e medidas de desempenho relevantes;
- Fazer uma apresentação dos processos e Fluxo de informações do sistema a partir de Diagrama do Layout;
- Descrição detalhada de cada subsistema e como eles interagem entre si;
- Sumários dos dados de entrada do modelo (análises técnicas devem ser colocadas nos apêndices para promover o relatório com legibilidade para os responsáveis pelas decisões).

O modelo conceptual deve ser rico em detalhes, pois é o modelo diagramado utilizado para criar o programa de simulação.

2.6.3.6 A EXECUÇÃO DE UM PROCEDIMENTO ESTRUTURADO PARA O MODELO CONCEITUAL

O analista da simulação precisará coletar a informação do sistema a ser simulado com pelo menos dois colaboradores pertencentes ao sistema que será estudado.

Os colaboradores estarão sempre preocupados com os resultados, sendo assim, há um considerável perigo do analista não obter uma descrição completa e correta do sistema.

Um modo eficaz de tratamento para este perigo potencial é conduzir um procedimento estruturado do modelo conceitual antes da reunião de analistas, colaboradores e responsáveis pelas decisões. Os analistas de simulação podem usar um procedimento de projeção ponto-a-ponto do modelo conceitual, e não prosseguir até que todos os participantes tenham concordado com o ponto

apresentando em questão. Uma vez estruturado o procedimento de coleta de dados, aumentará a validade e a credibilidade do modelo da simulação.

O procedimento estruturado deve idealmente ser administrado em um local remoto (por exemplo, uma sala de reunião de um centro de convenções). Deve-se também, antes de iniciar a programação, apresentar os pontos a serem discutidos. O modelo conceitual deve ser apresentado para os participantes, e seus comentários e observações deverão ser anotadas. As interações e opiniões são inestimáveis para a construção do modelo e sua adequação ao cenário real.

2.6.3.7 A EXECUÇÃO DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA DETERMINAR FATORES IMPORTANTES DO MODELO

A análise de sensibilidade procura determinar o efeito de uma variação de um determinado item no seu valor total. Este poderá ser um instrumento útil em diferentes áreas para se determinar a importância de uma variável sobre o resultado final de outra.

A técnica de análise de sensibilidade é uma técnica utilizada para determinar se uma variável do modelo tem um impacto significativo nas medidas de desempenho desejadas. Se uma variável do modelo conceitual parece ser muito importante, e se este necessita ser modelado cuidadosamente. Alguns fatores podem ser pesquisados através da análise de sensibilidade:

- O valor do parâmetro;
- A escolha da distribuição probabilística;
- O movimento da entidade através do modelo conceitual;
- O nível de detalhamento do subsistema.

2.6.3.8 A VALIDAÇÃO DOS DADOS DE SAÍDA DO MODELO CONCEITUAL

O teste mais definitivo de validade de um modelo de simulação ocorre quando os dados de saída se assemelham com os dados de saída observados em

um sistema real. Se o sistema modelado, com os dados reais, uma vez rodado, se assemelha com os resultados que se observa na situação real, então se tem o modelo validado. A exatidão do modelo depende do seu uso pretendido e da função a que o mesmo se destina.

Para Beamon (1996), os dados de saída otimizam a tomada de decisão dos responsáveis, além de possibilitar a revisão do modelo, caso necessário.

Desta forma, o modelo é modificado até que o mesmo represente realidade. Se ao se comparar os dois sistemas, observa-se uma proximidade, então o sistema está validado e é digno de crédito.

2.6.3.9 GRÁFICOS E ANIMAÇÕES PARA A APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE SAÍDA

Os gráficos e animações são úteis para mostrar os resultados do modelo de simulação e para validar e dar crédito à pesquisa desenvolvida. Os dados de saída podem ser apresentados em:

- Histogramas de recursos (estimativa gráfica com base na probabilidade ou função de massa);
- Gráficos de correlação (mostra se os dados de saída são correlacionados);
- Gráficos de tempo (mostra o comportamento dinâmico de uma ou mais variáveis ao longo do tempo);
- Gráfico de Barras.

Existem inúmeras formas de se realçar a apresentação dos resultados de um modelo. Um dos principais objetivos é apresentar o comportamento do sistema, sob a ótica dinâmica de curto, médio e longo prazo, e também comunicar aos responsáveis os dados de saída. Deve-se fornecer material para a correta tomada de decisão sobre implementação de políticas e diretrizes para o sistema. Assim, é possível realçar a credibilidade de um modelo. As animações são igualmente úteis para a verificação do programa de simulação, porque

permitem sugestões de melhorias para procedimentos operacionais e de treinamento.

2.6.4 SIMULAÇÃO MATEMÁTICA EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS

Os autores Oliveira e Carvalho (2004), analisaram o ambiente de simulação para a cadeia de suprimentos, focando o compartilhamento de informações e formas de gestão. Os autores propõem um ambiente para a simulação de cadeias de suprimentos (ASCS), e representam as empresas por um modelo de simulação de independência das empresas.

Os autores simularam a cadeia de suprimentos de forma distribuída, onde cada empresa é responsável pela construção do seu modelo de simulação, preservando assim a sua confiabilidade.

O modelo ASCS foi concebido especialmente para o estudo de políticas de gestão de cadeias de suprimentos (Machado, 2004), e opera com a dinâmica de simulação com tempos e eventos discretos.

O simulador ASCS – Ambiente de Simulação de Cadeia de suprimentos é um ambiente distribuído e desenvolvido para a alimentação de informações entre os vários agentes. Sua implementação tem base na simulação distribuída, e ocorre em tempo discreto.

Para Oliveira e Carvalho (2004), várias políticas podem ser modeladas a partir da aplicação do ambiente proposto. Para a medição de desempenho foram considerados os seguintes indicadores:

- Nível de serviço → é o percentual dos itens (que foram pedidos para os agentes) entregues no prazo. Entretanto, deve-se atentar a este indicador, porque níveis altos de estoques podem contribuir para a melhoria deste índice.

- Estoque médio → o índice de estoque médio deve ser analisado em conjunto com o nível de serviço da cadeia de suprimentos, para que se possa avaliar o desempenho da empresa.
- Razão dos desvios-padrão dos pedidos das entregas consecutivas → este índice indica a taxa de crescimento da variação dos pedidos, portanto, pode-se medir o efeito chicote na cadeia de suprimentos.

2.6.5 SIMULAÇÃO EM CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

As autoras Alves e Tommelein (2007) discutiram a importância do desempenho da cadeia de suprimentos no setor da construção civil a partir do gerenciamento da mesma. As autoras propuseram um modelo de simulação baseando-se no histórico de dados coletados de uma cadeia de suprimentos de dutos de ar-condicionados. A opção por simular cenários foi decorrente da dificuldade de se acompanhar as modificações ao longo do tempo das cadeias produtivas, desta forma, a simulação mostrou-se bastante satisfatória no que diz respeito a analisar os impactos de implementações nos cenários sugeridos. As autoras simularam quatro cenários, onde foram sugeridas modificações nos *Lead times* das atividades e variações dos tamanhos de lotes.

2.6.5.1 MODELO DE SIMULAÇÃO DESENVOLVIDO NO STROBOSCOPE

Alves e Tommelein (2007) apresentaram um projeto para a instalação de 1850 dutos de ar-condicionado. Os dados históricos que alimentaram o modelo foram obtidos através de pesquisas de campo e entrevistas com os chefes da equipe de fabricação e de instalação de dutos de ar-condicionados direto nas empresas fornecedoras.

O modelo apresentado por Alves e Tommelein (2007) não visa apresentar números precisos para se obter a base de inferências sobre as variações nos diferentes agentes da cadeia de suprimentos ou de que forma as variações

afetam o seu desempenho, mas sim a caracterização dos benefícios na otimização do fluxo de materiais, a partir da redução de lotes.

O *software* utilizado para a simulação foi o *STROBOSCOPE* (MARTINEZ, 1996). Esta linguagem de simulação é uma simulação baseada em eventos discretos, e especificamente desenvolvida para modelar operações da construção e tem sido utilizada por diferentes autores para essa função (ARBULU *et al.*, 2002; Tommelein, 1998). Mas sabe-se que este mesmo *software* foi utilizado para outras áreas que não para a engenharia civil (MARTINEZ, 1996).

2.6.5.2 CONCLUSÕES DA SIMULAÇÃO

Destacou-se a importância da simulação, baseando-se na revisão bibliográfica, como suporte para projetos de sistemas produtivos e para a visualização dos principais pontos a serem considerados para a sistematização de um projeto, sendo estes listados a seguir:

- A necessidade de melhoria na comunicação entre os agentes envolvidos para garantir a estabilidade do sistema;
- A redução do tamanho de estoques para proporcionar maior fluidez dos materiais e informações ao longo da cadeia de suprimentos;
- A redução da variabilidade dos tempos das atividades do processo produtivo, desta forma tornando o processo mais confiável;
- A estabilidade do Processo e das atividades dos agentes envolvidos;
- Estudos comprovam que o bom relacionamento das empresas com seus fornecedores resultam em produtos com elevados níveis de qualidade e, conseqüentemente, com maiores níveis de confiabilidade de entrega e satisfação para seus clientes (LIKER, 2004; ALVES e TOMMELEIN, 2007);
- A simulação computacional pode se uma ferramenta bastante interessante para o estudo dos diversos cenários. Os autores Arbulu (2002), Tommelein (1998), Walsh *et al.* (2004) e Alves (2005), utilizaram a simulação computacional para o estudo das inter-relações e para a medição dos

impactos de ações do fornecimento da cadeia de suprimentos como um todo para o setor de construção civil, uma vez que o fornecimento de materiais é muito disperso e pulverizado.

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 A ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Para a análise do impacto potencial da aplicação dos princípios da mentalidade enxuta no desempenho da cadeia de suprimentos da construção civil, optou-se por duas estratégias de pesquisa simultâneas: a simulação e o estudo de caso.

A escolha da simulação ocorreu devido ao objetivo da tese de contemplar a análise do potencial impacto da implementação *Lean* no desempenho da cadeia de suprimentos. Para realizar esta análise, existe a necessidade de implementar as ferramentas *Lean* em todos os agentes da cadeia de suprimentos. Em função da dificuldade da implantação *Lean*, em tempo real, em toda a cadeia de suprimentos no período proposto, optou-se pela utilização da simulação. Isto permitiu reproduzir o ambiente real com seus comportamentos e características, e posteriormente, aplicar as modificações e analisar os impactos no sistema como um todo. A metodologia para a validação da simulação utilizada foi baseada no método sugerido por Law (2005), explicitado na revisão bibliográfica.

A outra estratégia utilizada foi o estudo de caso para a composição dos cenários da simulação, uma vez que, para a elaboração do modelo, buscou-se reproduzir os cenários reais. Foram elaborados três estudos de caso: dois estudos de caso exploratórios e um estudo de caso mais detalhado, que serviu de base para a análise dos conceitos da mentalidade enxuta e de uma implantação simulada. A pesquisa, no geral, foi caracterizada pelo seu caráter exploratório e descritivo, a partir da observação de cadeias de suprimentos da construção civil, uma vez que se pretendeu explorar um assunto ainda pouco estudado pelos pesquisadores do setor da construção civil.

3.1.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da pesquisa foi concebido em três grandes etapas (ver figura 3.1), que serão descritas na continuidade da pesquisa.

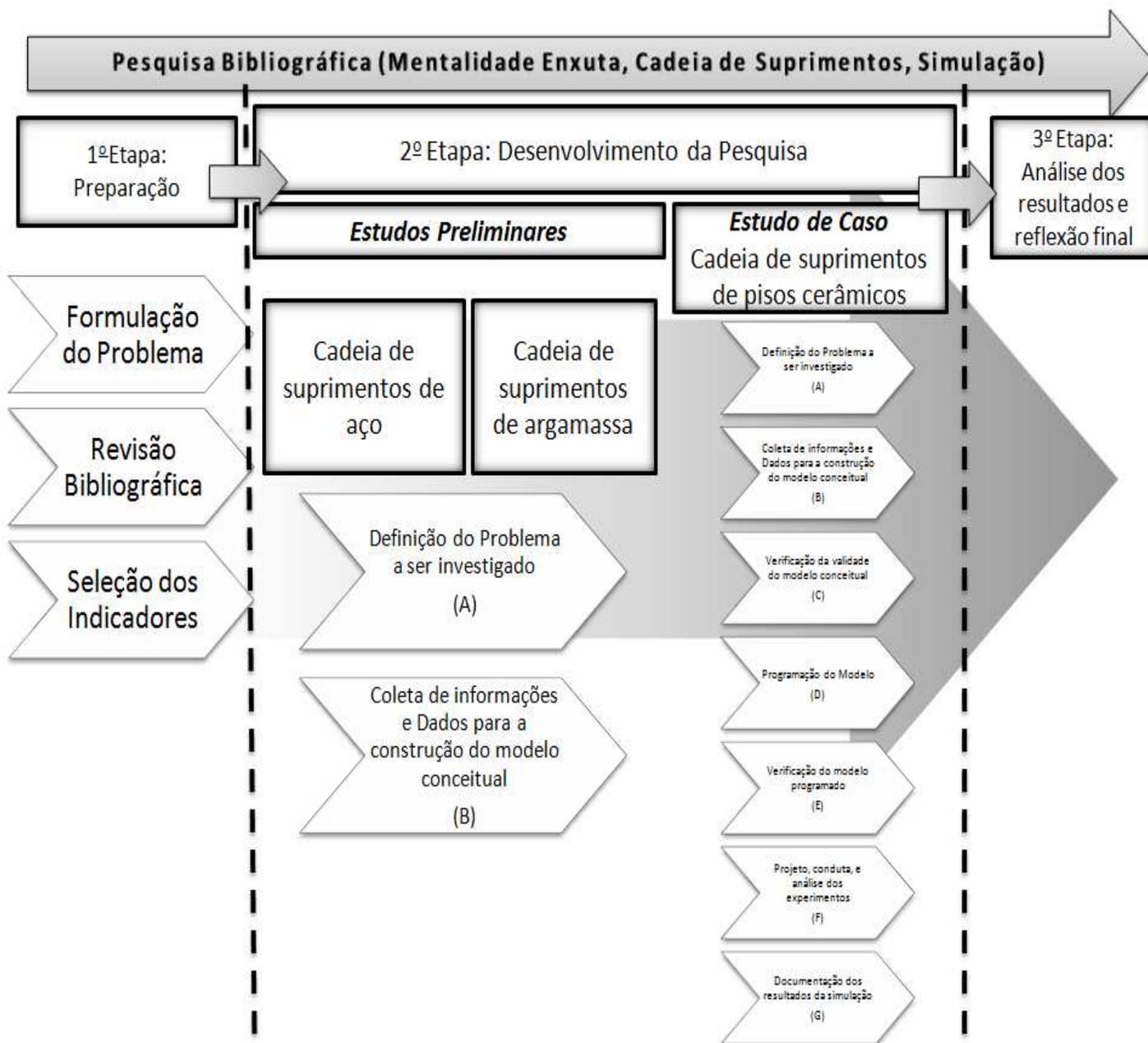


Figura 3.1 Metodologia de pesquisa

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

3.2.1 PRIMEIRA ETAPA DE PESQUISA DA TESE

A primeira etapa da pesquisa compreendeu as seguintes fases (Figura 3.2).

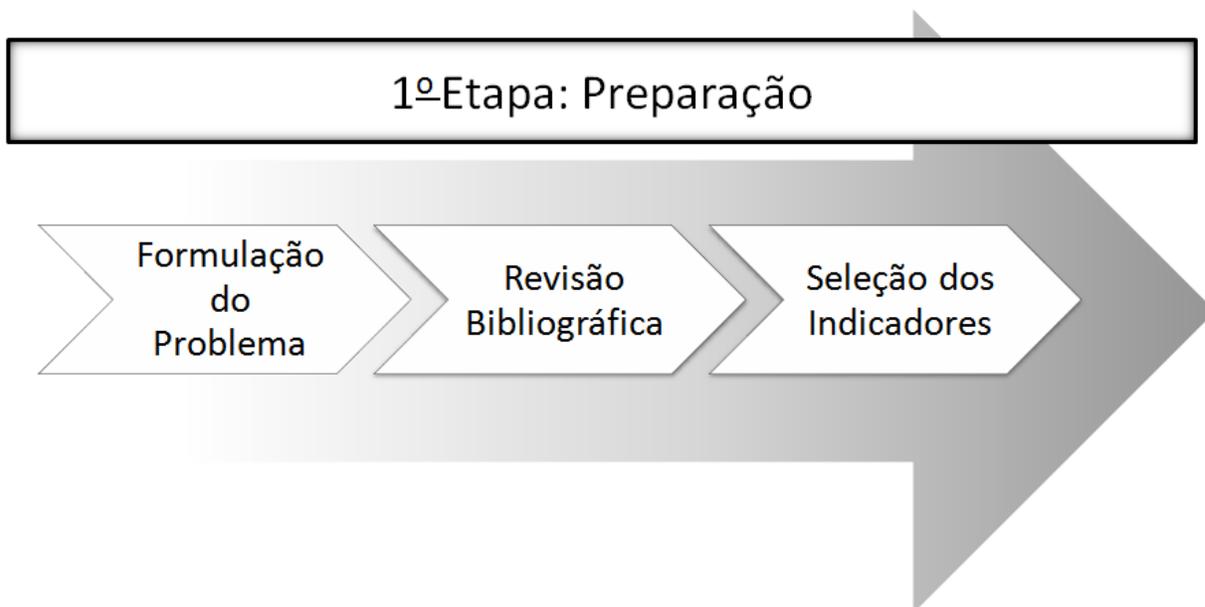


Figura 3.2 Etapas de pesquisa da primeira etapa da tese

3.2.1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Para a presente tese elaborou-se a seguinte questão de pesquisa: “Quais são os impactos nos indicadores de desempenho da cadeia de suprimentos da construção civil a partir da implementação da mentalidade enxuta?”

3.2.1.2 ELABORAÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO

Ao se identificar o problema, buscou-se responder a esta pergunta, através de pesquisa bibliográfica focada em identificar abordagens teóricas que referenciassem a avaliação de desempenho para cadeias de suprimentos e

possíveis impactos nos indicadores de desempenho a partir da aplicação dos princípios *Lean thinking*.

A revisão bibliográfica foi desenvolvida durante todo o período de realização da tese de doutorado com o objetivo de proporcionar o embasamento teórico para este trabalho e facilitar o desenvolvimento da pesquisa.

A revisão bibliográfica guiou a aplicação dos estudos de caso, e possibilitou a escolha dos indicadores utilizados na pesquisa. Forneceu também dados de estudos de casos de simulação e a aplicação dos conceitos *Lean* em outras cadeias de suprimentos, bem como em outros setores produtivos. Na pesquisa bibliográfica foram apresentadas importantes definições:

- Conceitos gerais de cadeia de suprimentos: seus conceitos gerais e principais definições, possíveis estruturas de apresentação da cadeia de suprimentos e principais estratégias adotadas. Nesta seção da revisão bibliográfica também apresenta definições sobre o gerenciamento da cadeia de suprimentos e a gestão logística e o comportamento da Cadeia de Suprimentos em função do efeito chicote e os principais aspectos da cadeia de suprimentos do setor da construção civil especificamente.
- Lean thinking e cadeia de suprimentos: os cinco principais princípios que norteiam a implementação Lean na cadeia de suprimentos foram apresentados, e os estudos de implementações da mentalidade enxuta na cadeia de suprimentos e seu monitoramento e resultados identificados, assim como foram identificadas as ferramentas utilizadas durante a sua implementação.
- Avaliação de desempenho da cadeia de suprimentos em geral: apresentou-se um panorama da avaliação da cadeia de suprimentos e os indicadores de desempenho utilizados;
- Simulação de cadeias de suprimentos: modelagem dos processos de uma cadeia de suprimentos, validação da simulação, técnicas para o

desenvolvimento de um modelo válido, simulação matemática em cadeias de suprimentos e exemplos de simulação matemática em cadeia de suprimentos da construção civil.

3.2.1.3 SELEÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO PARA A CADEIA DE SUPRIMENTOS A SEREM ANALISADAS

A partir do levantamento bibliográfico, foram estabelecidos indicadores de desempenho para a cadeia de suprimentos e para cada um dos agentes (figura 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6), com o intuito de mensurar o impacto da implementação da mentalidade enxuta.

3.2.1.3.1 INDICADOR DE *Lead time* (UNIDADE DE MEDIÇÃO: DIAS)

$$\text{LEAD TIME TOTAL} = \frac{\text{Estoque materia-prima} + \text{Estoque em processo} + \text{Estoque produto acabado}}{\text{Pedidos diários do cliente}}$$

Figura 3.3 *Lead time total*

3.2.1.3.2 INDICADOR DE NÍVEL DE SERVIÇO (UNIDADE DE MEDIÇÃO: PORCENTAGEM)

$$\text{NÍVEL DE SERVIÇO} = \frac{\text{Número de pedido entregues}}{\text{Número de pedido solicitados}}$$

Figura 3.4 *Nível de serviço*

3.2.1.3.3 INDICADOR DE GIRO DE ESTOQUE

$$\text{GIRO DE ESTOQUE} = \frac{365 \text{ dias}}{\text{Estoque (em dias)}}$$

Figura 3.5 Giro de estoque

3.2.1.3.4 INDICADOR DE ESTOQUE FÍSICO (UNIDADE DE MEDIÇÃO: UNIDADES MONETÁRIAS E DIAS DE ESTOQUE)

$$\text{ESTOQUE} = \text{Volume de estoque total em um determinado momento (Kgs)}$$

Figura 3.6 Estoque físico

3.2.2 SEGUNDA ETAPA DE PESQUISA DA TESE

A segunda etapa de pesquisa realizada contemplou o desenvolvimento dos estudos de caso. Foram realizados três estudos de caso, dois estudos de casos preliminares e um estudo de caso principal, no qual se empregou a simulação com todas as etapas descritas por Law (2005).

3.2.2.1 PRIMEIRO ESTUDO DE PRELIMINAR

O primeiro estudo de caso preliminar realizado teve um caráter exploratório. A pesquisa foi desenvolvida, a partir da empresa foco: uma fábrica de pré-fabricados com representatividade no mercado nacional, com a qual a Unicamp tem desenvolvido várias pesquisas relacionadas com a implementação do *Lean thinking* ao longo dos últimos anos. A empresa foco possui sede nacional em Itapevi-SP e tem como seus principais produtos a fabricação de elementos pré-moldados para a construção civil (figura 3.7).

O processo de produção de pré-fabricados e montagem de pré-moldados em canteiro foi estudado e aperfeiçoado pela implementação de princípios da mentalidade enxuta (*Lean thinking*) na fábrica e canteiro de obras, a partir de estudos acadêmicos desenvolvidos por pesquisadores do Grupo de Estudos da Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. A cadeia de suprimentos foi constituída por quatro agentes principais: fábrica de estribos, fábrica de pré-moldados, obra e cliente final.

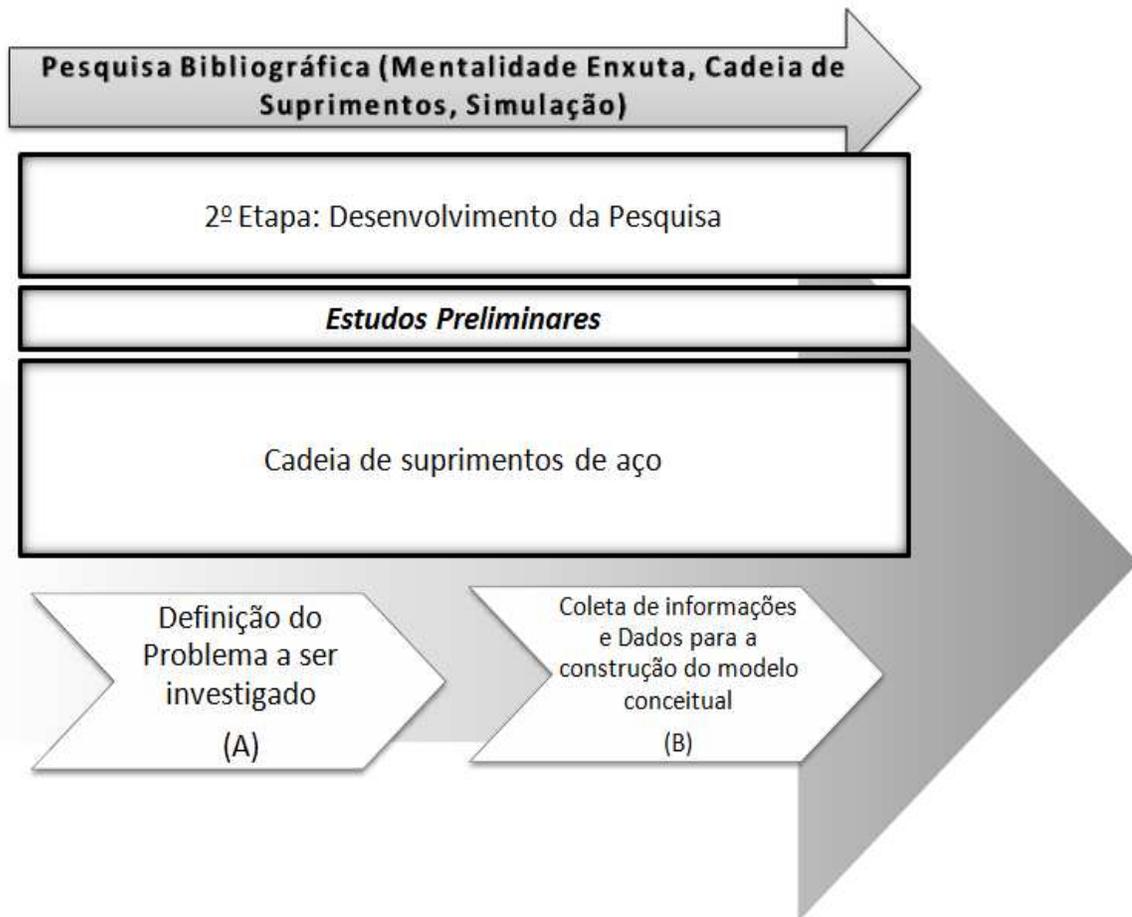


Figura 3.7 Etapas de pesquisa do primeiro estudo preliminar

Atualmente, a fábrica de pré-moldados tem focado seu interesse na aplicação dos princípios *Lean* e implementação das ferramentas em seus processos produtivos fabris e na cadeia de suprimentos, para a otimização dos relacionamentos com seus fornecedores e clientes e também a implementação *Lean* nos processos produtivos da fábrica. A partir de pesquisas realizadas na empresa foco, fábrica de pré-moldados, escolheu-se a cadeia de suprimentos de aço, para a realização do mapeamento e definição de indicadores a serem observados. Destacam-se as justificativas para a escolha deste material (aço), para a análise de sua cadeia de suprimentos:

- A criticidade do material apresentada pelos entrevistados (diretor operacional, gerente de logística, gerente de operações e os engenheiros envolvidos no processo), e seu impacto nas linhas de produção de elementos pré-moldados para a fábrica;
- A importância do material na confecção de elementos estruturais para a construção de obras pré-moldadas;
- A facilidade na obtenção dos dados para a elaboração do estudo de caso e modelagem.

Uma vez selecionada e delimitada a cadeia de suprimentos para o estudo de caso preliminar iniciou-se o mapeamento do fluxo de valor de cada um dos agentes e, posteriormente, o macro mapeamento do fluxo de valor da cadeia como um todo para o estado atual. Após o mapeamento do estado atual da cadeia de suprimentos, foi possível observar o fluxo de suprimentos da cadeia de aço. O estudo foi documentado e avaliado para a validação dos indicadores propostos na pesquisa, além de comprovar a viabilidade de sua coleta dentro de uma cadeia de suprimentos na construção civil.

3.2.2.1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA A SER INVESTIGADO

Nesta etapa, a pesquisa procurou identificar precisamente o problema a ser investigado, bem como, observou a interatividade de todos os agentes envolvidos no processo.

3.2.2.1.2 COLETA DE INFORMAÇÕES E DADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

A coleta de dados foi realizada nos agentes participantes da cadeia de aço. Para a coleta de informações e dados, para a composição do arcabouço de dados

e para a elaboração do modelo, foram utilizadas: entrevistas semi-estruturadas, análise de documentos e procedimentos das empresas, observação de processos.

Para as entrevistas semi-estruturadas realizadas com os envolvidos no processo foi elaborado um roteiro prévio. Posteriormente, a pesquisadora pôde, simultaneamente, desenhar os mapas de fluxo de valor dos processos.

Realizou-se uma primeira etapa de diagnóstico com entrevistas semi-estruturadas, que posteriormente serviram de material para a elaboração do mapeamento do fluxo de valor de cada agente. O objetivo destas entrevistas semi-estruturadas foi caracterizar, em linhas gerais, os processos internos de cada agente, e as interfaces entre os agentes, visitando as fábricas. Foram levantados dados desde a fabricação do aço até a sua confecção na fábrica de pré-moldados. As entrevistas foram realizadas pessoalmente nos locais de trabalho dos entrevistados, pela pesquisadora.

As entrevistas foram marcadas e agendadas previamente por telefone, com a identificação do pesquisador, seu orientador e a finalidade a que se propunha a pesquisa em questão. Cada uma das entrevistas realizadas teve, em média, uma duração de duas horas, e mais quatro horas para a realização do mapeamento *in loco*. Concluídas as entrevistas, todas as informações foram transcritas. A partir do conteúdo das mesmas foram elaborados relatórios resumidos para cada tipo de agente entrevistado. Cada um dos entrevistados contribuiu de forma diferente, de acordo com suas experiências profissionais. Inicialmente, foi realizada uma entrevista informal com cada um dos agentes, para a definição das pessoas participantes da pesquisa, o levantamento dos principais processos envolvidos, e o agendamento da visita para o efetivo mapeamento. Para a realização do mapeamento foram necessárias três visitas em cada empresa mapeada.

Ao longo desse estudo, a observação direta foi utilizada como fonte de evidência, tanto nos estudos de caso, quanto na pesquisa-ação, principalmente no estudo de caso exploratório. Com o objetivo de complementar as informações obtidas através de entrevistas e visitas às fábricas, os processos foram analisados *in loco* e foram analisados também os seguintes documentos: procedimentos das empresas de Gestão de Sistemas da Qualidade ISO e mapeamento de processos já realizados.

A análise dos dados foi realizada a partir da análise dos mapas do estado atual e mapas do estado futuro dos agentes, baseada na metodologia de Rother e Shook (2000) e para a análise do macro mapa do estado atual, as análises foram baseadas na metodologia de Womack e Jones (2004).

Ao final desta coleta de dados, foram obtidos mapas individuais do estado atual de cada um dos fornecedores. Os resultados e conclusões deste levantamento estão apresentados no capítulo quatro da dissertação. Analisou-se a diminuição dos tempos de processamento e de *Lead time*, referente ao mapa do estado atual.

Como base nas evidências obtidas na análise documental e nas entrevistas, construiu-se durante o estudo de caso um macro mapa do estado atual de toda a cadeia de fornecedores envolvidos no fornecimento de aço para as construtoras e usuários finais. O mapa de fluxo de valor do estado atual (MMEA) foi utilizado para representar, de um modo geral, o fluxo de produção do produto e das informações que ocorriam nas interfaces entre fornecedores da cadeia. O MMEA possibilitou uma melhor compreensão desses fluxos e de seus respectivos problemas em cada interface. A partir desta análise, pode-se propor algumas diretrizes voltadas para a melhoria de fluxo de informações e tempos de recebimento dos produtos entre os agentes da cadeia de fornecedores.

3.2.2.1.3 ELABORAÇÃO DO MACRO MAPA DE FLUXO DE VALOR DO ESTADO ATUAL (MMEA)

Esta cadeia de suprimentos foi composta pelos seguintes agentes: fornecedores de matéria-prima; fabricantes de estribos, fabricantes de pré-moldados e obra. Os agentes escolhidos têm relações comerciais de longo prazo entre si, de forma que foi possível o rastreamento do material durante todo o seu trajeto ao longo de toda a cadeia de suprimentos.

A partir do mapeamento dos processos internos da fábrica de pré-moldados, surgiu a necessidade do mapeamento do agente fornecedor de aço dobrado para as linhas de produção. O fabricante de aço foi contactado e envolvido na pesquisa e na coleta de dados.

O fabricante de aço dobrado (estribos) foi entrevistado e mapeado seguindo a mesma metodologia empregada no fabricante de peças pré-moldadas. A partir do mapeamento realizado, foi detectado seu fornecedor principal de barras de aço (empresa pertencente ao mesmo grupo). Desta forma, foi composta a cadeia de suprimentos deste estudo de caso. Ao total, foram três empresas participantes da cadeia de suprimentos de aço dobrado para o setor de construção civil:

- Fábrica de pré-moldados: empresa de grande porte, sediada na cidade de Itapevi – São Paulo atua em construções pré-moldadas no Brasil e no exterior. Esta empresa atua no mercado há mais de 30 anos.
- Fabricante de estribos dobrados de aço: empresa de grande porte, com o *site* fabril localizado na cidade de São Paulo.
- Fabricante de Aço: empresa de grande porte, do mesmo grupo do fabricante de estribos de aço, com diversos *sites* no país. As unidades estudadas estavam localizadas no estado do Rio de Janeiro.

Para o entendimento das cadeias de suprimentos escolhidas para os estudos de caso, levantaram-se dados a partir de entrevistas e observação de documentos. Todas as informações foram compiladas no MMEA das cadeias de suprimentos. De posse destes dados de cada agente, foi elaborado o MMEA da cadeia de suprimentos baseado na metodologia sugerida por Womack e Jones (2004).

- Na fábrica de pré-moldados, as entrevistas foram realizadas nos seguintes departamentos: produção, compras, logística, almoxarifado. Foi realizado o mapeamento do departamento de suprimentos da construtora, para o mapeamento do fluxo de informações e mapeamento administrativo para a aquisição de aço para a linha de produção para a fábrica de pré-moldados.
- Na fábrica de estribos dobrados de aço, as entrevistas foram realizadas com as duas coordenadoras (qualidade e de relacionamento de clientes). Foram levantados também os principais processos produtivos da fábrica.

Na etapa de análise dos dados dos estudos de caso, foram detectados desperdícios e realizadas propostas de mapas do estado futuro para cada um dos agentes e um macro mapa do estado futuro para a cadeia de aço com as sugestões e melhorias baseadas nos princípios *Lean*.

3.2.2.1.4 DOCUMENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Um modelo prévio foi apresentado, e a documentação pertinente a este modelo está no capítulo quatro da tese.

3.2.2.2 SEGUNDO ESTUDO DE CASO PRELIMINAR

Na continuidade da pesquisa, elaborou-se o segundo estudo de caso preliminar: foi selecionada uma cadeia de suprimentos da construção civil

responsável pelo fornecimento de argamassa industrializada para o assentamento de pisos cerâmicos em obras civis (figura 3.8).

A escolha da cadeia de suprimentos de argamassa industrializada ocorreu devido a sua grande relevância no contexto do setor da construção civil. Os agentes da cadeia de suprimentos selecionada foram: fábrica de argamassa industrializada, Centro de distribuição e a Loja de materiais de construção e cliente final, uma vez que todos os agentes relacionados pertencem ao mesmo grupo empresarial. A coleta de dados seguiu a mesma metodologia descrita no primeiro estudo de caso.

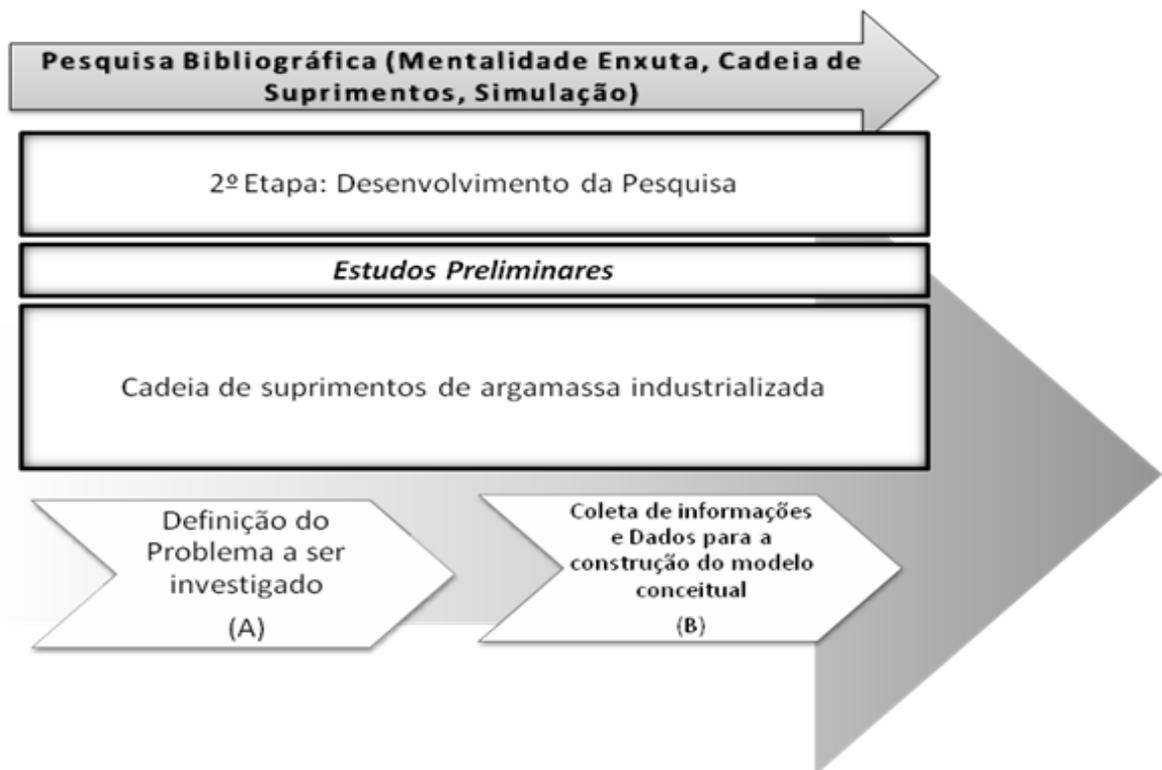


Figura 3.8 Etapas de pesquisa do segundo estudo preliminar

3.2.2.3 TERCEIRO ESTUDO DE CASO – ESTUDO DE CASO PRINCIPAL

O terceiro estudo de caso envolveu quatro agentes: fábrica de pisos, centro de distribuição, loja de materiais e cliente. Este estudo de caso realizado contou com uma coleta de dados intensiva, e a partir dos indicadores sugeridos pela revisão bibliográfica, foi elaborado o modelo matemático a realizada a simulação dos cenários da cadeia de suprimentos após implementações *Lean* (Figura 3.9).



Figura 3.9 Etapas de pesquisa do estudo de caso principal

A metodologia para a realização deste estudo de caso buscou na pesquisa bibliográfica informação sobre a realização da simulação, a metodologia foi baseada na metodologia sugerida por Law (2005). Para a pesquisa, observa-se as seguintes etapas:

3.2.2.3.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA A SER INVESTIGADO: (A)

Nesta etapa, procurou-se identificar precisamente o problema a ser investigado, solicitando a interatividade de todos os agentes envolvidos no processo. Também foi realizado um esboço do modelo conceitual a ser utilizado. No esboço do modelo conceitual foram considerados os seguintes aspectos:

- Objetivo da pesquisa: no modelo foi inserido o objetivo principal da pesquisa: avaliar o impacto da implementação das ferramentas Lean nos indicadores de desempenho da cadeia de suprimentos;
- Medidas de desempenho: foram definidos em função do levantamento bibliográfico, e dos quatro indicadores para a medição do sistema.

A partir do levantamento bibliográfico foram estabelecidos os indicadores de desempenho para a cadeia de suprimentos e para cada um dos agentes com o intuito de mensurar o impacto da implementação da mentalidade enxuta nos custos e na qualidade do produto final.

- Indicador de *Lead time* (unidade de medição: dias);
 - Indicador de Nível de Serviço (unidade de medição: porcentagem);
 - Indicador de Giro de Estoque;
 - Indicador de Estoque físico (unidade de medição: unidades monetárias e dias de estoque).
- Escopo do modelo: o modelo contemplou todos os agentes e suas relações de entrega de materiais e fluxo de pedidos de compra.
 - A configuração do modelo a ser modelado: os estoques, os tempos, os processos produtivos, os tempos de transporte e as sazonalidades nos processos;
 - O prazo do estudo e os recursos requeridos: o estudo de caso teve a duração de seis meses, e foi requerida a compra do software STELLA para

a realização dos estudos de simulação. A aquisição do software foi financiada pela FAPESP, através dos recursos disponibilizados para a pesquisa de doutorado. O principal parâmetro considerado para a escolha do software STELLA foi a facilidade de interface gráfica e a possibilidade de modelagem de políticas de estoques que refletissem as implementações Lean.

- Coleta de informações e dados para a construção do modelo conceitual:
(B)

A coleta de dados realizada neste estudo de caso foi baseada nos principais objetivos definidos para a tese. Para a realização da coleta de dados e informações, foram realizadas entrevistas semi-estruturadas, baseada em um roteiro pré-definido para coletar informações referentes a tempo de processo, tempo do pedido, número de entregas, tamanho do lote, volume de estoque, volume de estoque de segurança, volume de estoque mínimo, *setup* da produção, assim como os atrasos normais, e a variabilidade da demanda. Na coleta de dados buscou-se:

- Disponibilidade de dados: Para a concepção do modelo conceitual, considerou-se a disponibilidade de dados por parte dos agentes da cadeia de suprimentos.
- Objetivos do projeto: o objetivo principal foi compor um modelo conceitual que expressasse as relações entre os agentes, permitisse a composição de diversos cenários e possibilitasse a avaliação dos mesmos, em função das implementações de ferramentas da mentalidade enxuta.
- Medidas de desempenho de interesse: as medidas de desempenho adotadas foram às mesmas escolhidas através da bibliografia.
- Disponibilidade dos dados: as medidas de desempenho também foram escolhidas, em função da experiência obtida no primeiro estudo de caso exploratório, que possibilitou à pesquisadora observar quais dados seriam

disponibilizados, e suas respectivas relevâncias para o estudo da cadeia de suprimentos.

- Credibilidade requerida: a credibilidade do modelo foi testada juntamente com os participantes da cadeia que validaram o modelo apresentado.
- Restrições do software utilizado: o software utilizado apresentou-se satisfatório para a modelagem sugerida.
- Coleta de dados de desempenho do sistema existente para se utilizar no modelo: a coleta de dados de desempenho foi realizada em conjunto com a coleta dos dados de entrada para a programação do modelo conceitual.

Por fim, analisando-se todas estas informações, foi concebido o modelo conceitual inicial. Baseando-se no universo de dados a ser modelada, uma cadeia de suprimentos da construção civil, utilizou-se um modelo dinâmico, com um modelo de mudança discreta orientada ao processo.

Embora o software escolhido, STELLA, trabalhe com os dois tipos de modelagem, discreta e contínua, utilizando os conceitos de systems dynamics.

3.2.2.3.2 VERIFICAÇÃO DA VALIDADE DO MODELO: (C)

Com o modelo conceitual já formatado e elaborado com todas as relações entre os participantes já representados, foram definidas, matematicamente, as equações e as relações observadas. Foi realizada uma reunião com os participantes da pesquisa para a validação do modelo conceitual proposto. Os participantes verificaram todas as relações explicitadas no modelo, e validaram os valores que foram coletados a partir das entrevistas semi-estruturadas. As correções foram realizadas em função das opiniões dos participantes, que validaram o modelo conceitual proposto.

3.2.2.3.3 PROGRAMAÇÃO DO MODELO: (D)

A partir do modelo conceitual elaborado, foi adotado um *software* de simulação para a realização dos cenários propostos na pesquisa. O *software* escolhido, o *STELLA*, usado para a simulação dos impactos da implementação dos princípios do *Lean thinking* na cadeia de suprimentos na construção civil. O modelo de simulação foi construído em função do estado atual da cadeia de suprimentos de pisos cerâmicos e dos indicadores escolhidos na pesquisa de referência bibliográfica.

3.2.2.3.4 VERIFICAÇÃO DO MODELO PROGRAMADO: (E)

Nesta etapa observaram-se os seguintes aspectos do modelo: depois de elaborado os modelos da cadeia de suprimentos foram adicionados os dados coletados, a partir do histórico dos agentes. A comparação dos dados coletados comprovou a aderência e adequação do modelo aos resultados obtidos e validados a partir da análise da situação atual. Desta forma, considerou-se o modelo validado e consistente para utilização para análise em cenários futuros.

3.2.2.3.5 PROJETO E ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS: (F)

Com relação à configuração do sistema para a coleta de dados de saída, preferiu-se utilizar período para a simulação de seis meses. Para a simulação dos cenários futuros, dois parâmetros foram modificados para avaliarem-se os impactos da filosofia *Lean* no relacionamento dos agentes:

- Intervalo de pedidos (tempo: em dias);
- Tempo de reposição do material (tempo: em dias);

Em função da variação nos dois aspectos propostos foram estudados os impactos que as modificações teriam em quatro cenários diferentes.

3.2.2.3.6 DOCUMENTAÇÃO DOS RESULTADOS: ETAPA (G)

Nesta etapa foram detalhados o modelo conceitual apresentado e suas considerações, também foram apresentados os resultados obtidos através da simulação para os quatro cenários possíveis.

3.2.3 TERCEIRA ETAPA DE PESQUISA DA TESE

3.2.3.1 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS DA SIMULAÇÃO

Nesta etapa da pesquisa foram realizadas a análise e a discussão dos resultados obtidos depois da implementação, a partir da medição dos indicadores de desempenho. As oportunidades e dificuldades encontradas pela pesquisadora são relatadas e, por fim, é efetuada uma reflexão sobre a *Lean thinking* e a melhoria do desempenho das cadeias da construção civil.

4 PRIMEIRO ESTUDO DE CASO PRELIMINAR – CADEIA DE SUPRIMENTOS DE AÇO DOBRADO

O primeiro estudo de caso preliminar foi realizado em três etapas distintas (Figura 4.1). A primeira etapa foi caracterizada pela definição do problema. Escolheu-se a cadeia de suprimentos de aço como objeto de estudo para este primeiro estudo de caso exploratório. Na segunda etapa foi realizada a coleta de informações e de dados para a construção do modelo conceitual e na última e terceira etapa, analisou-se o modelo e a documentação obtida a partir do estudo de caso.

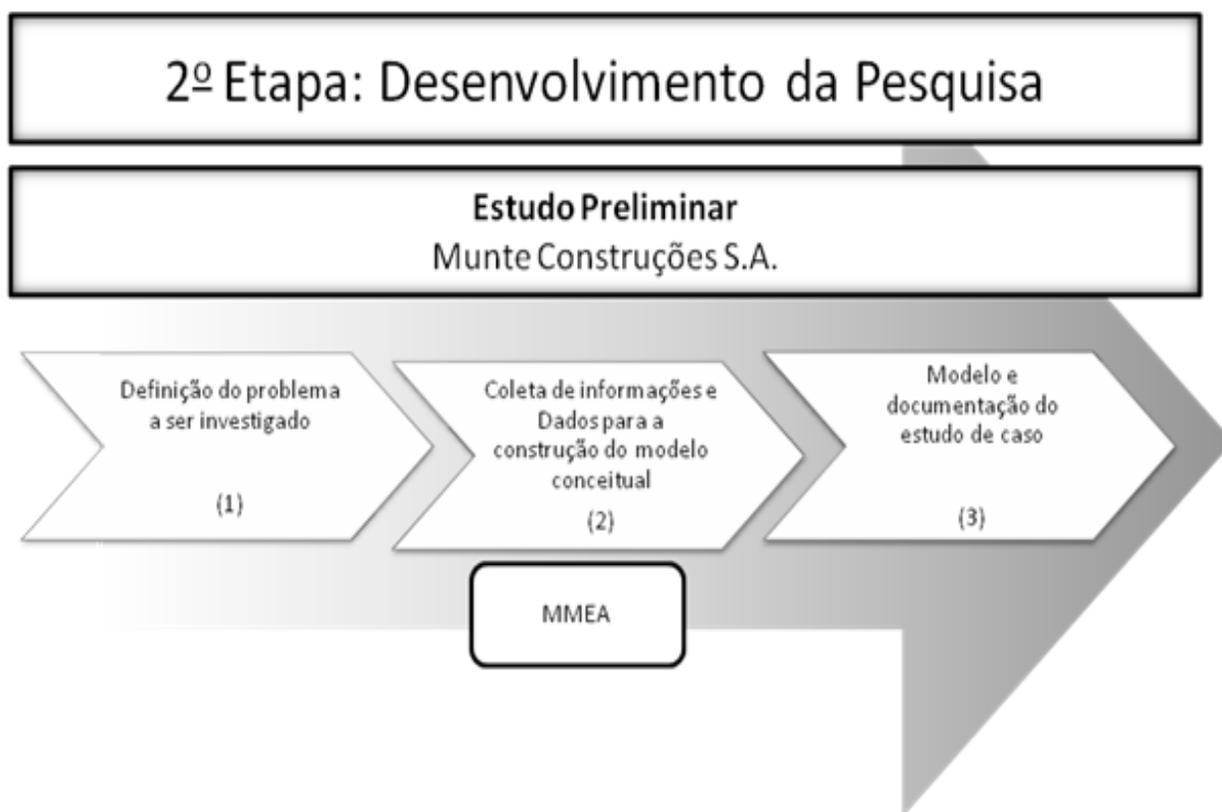


Figura 4.1 Metodologia para o estudo de caso preliminar

4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA A SER INVESTIGADO

Após a primeira reunião com a diretoria da fábrica de pré-moldados de concreto foi observado que o componente mais crítico para a produção dos elementos pré-fabricados era o aço, mais especificamente, os estribos de aço dobrados para a confecção de peças pré-fabricadas de concreto. O aço é adquirido previamente dobrado, na forma de estribos, e é um elemento fundamental para a composição de peças pré-fabricadas. A cadeia de suprimentos analisada neste estudo de caso foi composta pelos seguintes agentes (Figura 4.2):

- Fábrica de estribos (aço dobrado)
- Fábrica de elementos pré-moldados
- Obra

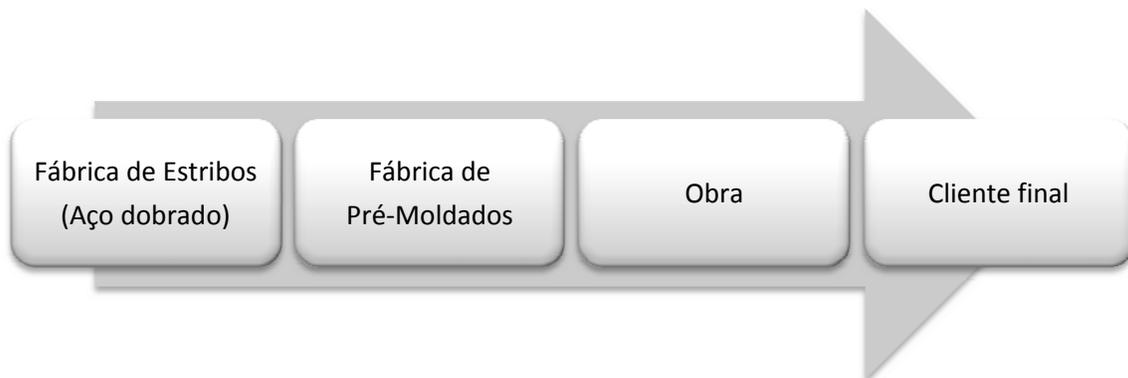


Figura 4.2 Cadeia de suprimentos de aço

4.2 COLETA DE INFORMAÇÕES E DADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

A coleta de dados iniciou-se na fábrica de pré-moldados, mais especificamente, nos departamentos de logística e almoxarifado. Após as entrevistas preliminares, se iniciou a etapa de entrevistas semi-estruturadas, baseada na metodologia de mapeamento de fluxo de valor sugeridas por Rother e Harris (2001), para elaboração dos primeiros mapas do estado atual. A partir da

elaboração dos primeiros mapas de estado atual, foi possível identificar os agentes e seus fluxos de informação, que realizam a interface com a fábrica de pré-moldados.

Ao identificar a empresa fornecedora de estribos de aço, a mesma foi convidada a participar do mapeamento de fluxo de valor. O fornecedor de estribos de aço foi visitado, e também foi realizada a aplicação das entrevistas semi-estruturadas. A partir destas entrevistas, com base nas informações levantados em campo, foi possível a elaboração do mapa do estado atual da fábrica de estribos de aço. A interface entre a fábrica de pré-moldados e a fábrica de estribos de aço foi mapeada e identificada no desenho do macro mapa de fluxo de valor do estado atual.

4.2.1 FABRICA DE AÇO

Na pesquisa não foi contemplada esta unidade, mas obtiveram-se os dados na fábrica de estribos (aço dobrado) em São Paulo (SP).

4.2.2 FABRICA DE ESTRIBOS (AÇO DOBRADOS)

A fábrica de estribos está localizada no complexo industrial Anhanguera, localizado na cidade de São Paulo – SP. Na fábrica de estribos, foram elaborados os mapas de fluxo de valor do processo administrativo de aquisição e suprimentos e o mapa de fluxo de valor para a produção de estribos. O primeiro e o segundo mapa foram elaborados a partir da visualização dos processos administrativos envolvidos desde a compreensão dos projetos até a confecção das peças de estribos dobrados. A duração das visitas técnicas para a realização dos primeiros mapeamentos foi de aproximadamente quatro horas cada. Após a elaboração dos mapas, os mesmos foram apresentados para os responsáveis de cada área que acompanharam o processo, para a validação dos resultados.

Durante a validação, os mapas foram readequados, a partir dos comentários e considerações apresentados pelos funcionários da empresa, e foi ao final realizada uma nova reunião com os responsáveis para a validação e coleta de propostas para os mapas de estado fluxo de valor do futuro.

4.2.1.1 MAPA DE FLUXO DE VALOR ADMINISTRATIVO DE AQUISIÇÃO E SUPRIMENTO DA FÁBRICA DE ESTRIBOS DE AÇO

No MFV administrativo do estado atual da fábrica de estribos, apresentado na figura 4.3, observou-se o fluxo de informação, desde o pedido do cliente (fábrica de pré-moldados) até a programação da produção de estribos na fábrica.

No MFV administrativo podem-se observar as seguintes etapas: primeiramente, o departamento de suprimentos envia a solicitação do pedido para o departamento comercial do fabricante de estribos. O primeiro contato é feito por telefone ou por e-mail, na seqüência o analista preenche o formulário e envia eletronicamente juntamente com as cópias dos desenhos para a produção. O pedido da fábrica de pré-moldados de concreto é encaminhado (por e-mail ou contato telefônico) para o departamento comercial da fábrica de estribos de aço, para orçamento e fechamento do pedido. Neste processo de contrato, o pedido é analisado e adicionado ao contrato do cliente (se existente). A duração média deste processo é de um dia. A informação é encaminhada para o processo de agendamento e reserva de programação na produção.

O processo de agendamento e reserva de programação subdividem-se em mais dois subprocessos: agendamento eletrônico e análise do projeto e quantidades. A informação é encaminhada para o agendamento eletrônico da produção. O tempo médio deste processo tem a duração de um dia. Na atividade descrita estão locados cinco funcionários para o desenvolvimento da análise de projeto. Normalmente, este processo é realizado de forma sistematizada, já que utiliza o mesmo *software* da produção. Na seqüência, a informação é

encaminhada para a análise de projeto e quantidades. Este processo é realizado apenas por um funcionário, e tem duração média de um dia. Terminado o processo de análise prévia, o processo é encaminhado para o planilhamento de projetos. O processo de planilhamento de projetos possui dois subprocessos: transcrição dos projetos para *software* de produção e romaneio de desenhos.

O processo de transcrição de projetos para o *software* é realizado em um departamento técnico, manualmente pelos projetistas. Este departamento é composto por dezoito técnicos de edificações, e tem uma duração média de um dia, o departamento responsável pela execução desta atividade é a área técnica. Na sequência, a informação é encaminhada para o processo de romaneio de desenhos, que é realizada pela área de logística, onde outro técnico realiza a análise do pedido. O tempo médio de duração desta atividade é de dois a três dias. Observou-se, também durante o mapeamento, um estoque de dois dias entre os dois macros processos: agendamento e reserva da programação e planilhamento de projetos. Este estoque foi calculado em função da quantidade de projetos parados aguardando a transcrição para o *software*.

Após a elaboração do romaneio e a inserção dos dados no *software* de produção, o pedido de produção é encaminhado para a linha de produção. O sistema de produção utilizado na fábrica é o SAP. Este sistema coordena todas as atividades e processos da fábrica, bem como, mantém também atualizadas informações sobre clientes e fornecedores simultaneamente. O *Lead time* total observado neste processo foi de oito dias.

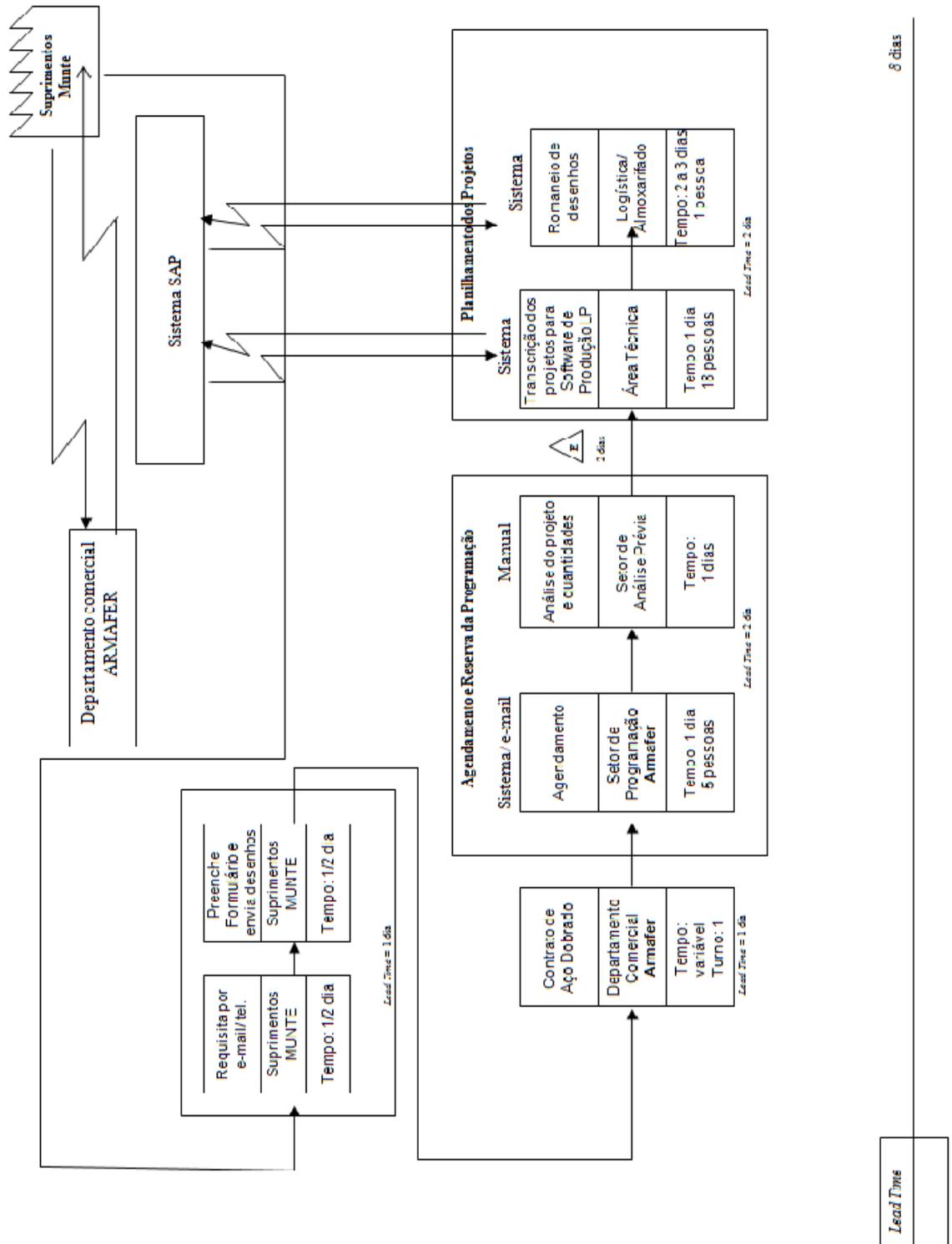


Figura 4.3 Mapa Administrativo de Fluxo de Valor para a produção de estribos

4.2.1.2 MAPA DE FLUXO DE VALOR DA FÁBRICA DE ESTRIBOS DE AÇO

Foi elaborado o MFV para o processo produtivo de estribos de aço das linhas de produção da Fábrica de estribos. O mapa da Figura 4.5 foi elaborado a partir da visualização dos processos envolvidos na fabricação de estribos dobrados. Todos os processos fábrics observados foram considerados para a elaboração deste mapa. A duração da entrevista para a realização deste mapeamento foi de aproximadamente quatro horas.

No mapa de fluxo de valor da produção de estribos, apresentado na figura 4.5, iniciou-se pelo estoque de matéria-prima, material enviado pelo fornecedor de bobinas de aço. Este fornecedor está localizado no estado do Rio de Janeiro, e possui um *Lead time* de entrega com tempo variável em torno de sete dias. Também foi identificado no pátio da fábrica um estoque de trinta dias de bobinas de aço aproximadamente. Na parte superior do mapa, identificou-se o fluxo de informação, onde a informação inicial para a produção é enviada do departamento administrativo/projetos para o PCP da fábrica. O departamento de Planejamento e Controle de Produção (PCP) realiza a programação, e encaminha o pedido de produção para o departamento de qualidade que fará o balanceamento da produção e a emissão das etiquetas de identificação. Após a emissão das etiquetas, as mesmas são encaminhadas para um quadro *kanban* pelo gerente da qualidade. Após a sua colocação no quadro *kanban*, o operador retira a etiqueta e verifica a seqüência de produção programada. No caso de se tratar de uma peça especial, o gerente da qualidade ou um funcionário por ele designado, retira o gabarito no departamento de controle de qualidade e entrega pessoalmente para o operador de produção (Figura 4.4).

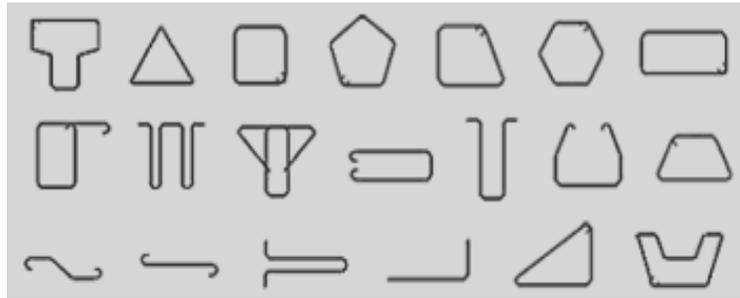


Figura 4.4 Estribos fabricados na fábrica de estribos – Anhanguera

O funcionário, de posse da etiqueta e do gabarito, dirige-se para o primeiro processo produtivo: corte e dobra. Este processo é realizado por dois operários por máquina. Na fábrica, como um todo, existem quarenta (40) equipes de 2 funcionários cada. Para a produção de estribos para a fábrica de pré-moldados existe uma máquina dedicada, onde se trabalha em três turnos. São produzidos cerca de 180.000 kg/dia de estribos, ou seja, deste montante cerca de 88% da produção é destinada para as fábricas de pré-moldados localizadas no Brasil inteiro. Existe também um processo paralelo, processo de corte e dobra, que é realizado em outras duas máquinas dedicadas, em três turnos, operadora por dois operadores. Depois de realizado este processo produtivo, os estribos são encaminhados para o processo de embalagem. O processo de embalagem é realizado por uma pessoa em um único turno. O *Lead time* destes dois processos é de um dia. Também foi observado um estoque de produtos acabados de um dia após o processo de embalagem. Após os estribos serem embalados, os mesmos são encaminhados para a expedição. O departamento de expedição é responsável por dois subprocessos: programação da expedição e carregamento dos caminhões. O processo de programação da expedição é realizado por três operários através de um sistema que organiza e otimiza os roteiros de viagens. O processo de carregamento dos caminhões é realizado por vinte e três funcionários, em um único turno.

O *Lead time* deste processo realizado na expedição/ logística é de um dia. Os processos de produção e de expedição/ logística possuem o gerenciamento

visual (um quadro com a apresentação dos pedidos) instalado próximo dos funcionários. Após o carregamento, os estribos são encaminhados para a fábrica de pré-moldado, ou diretamente para a obra requisitante. O *Lead time* deste mapa é de três dias. Ao somar o *Lead time* do mapeamento administrativo da fábrica de estribos com o mapa de produção dos estribos (oito dias) obtem-se um *Lead time* total de onze dias.

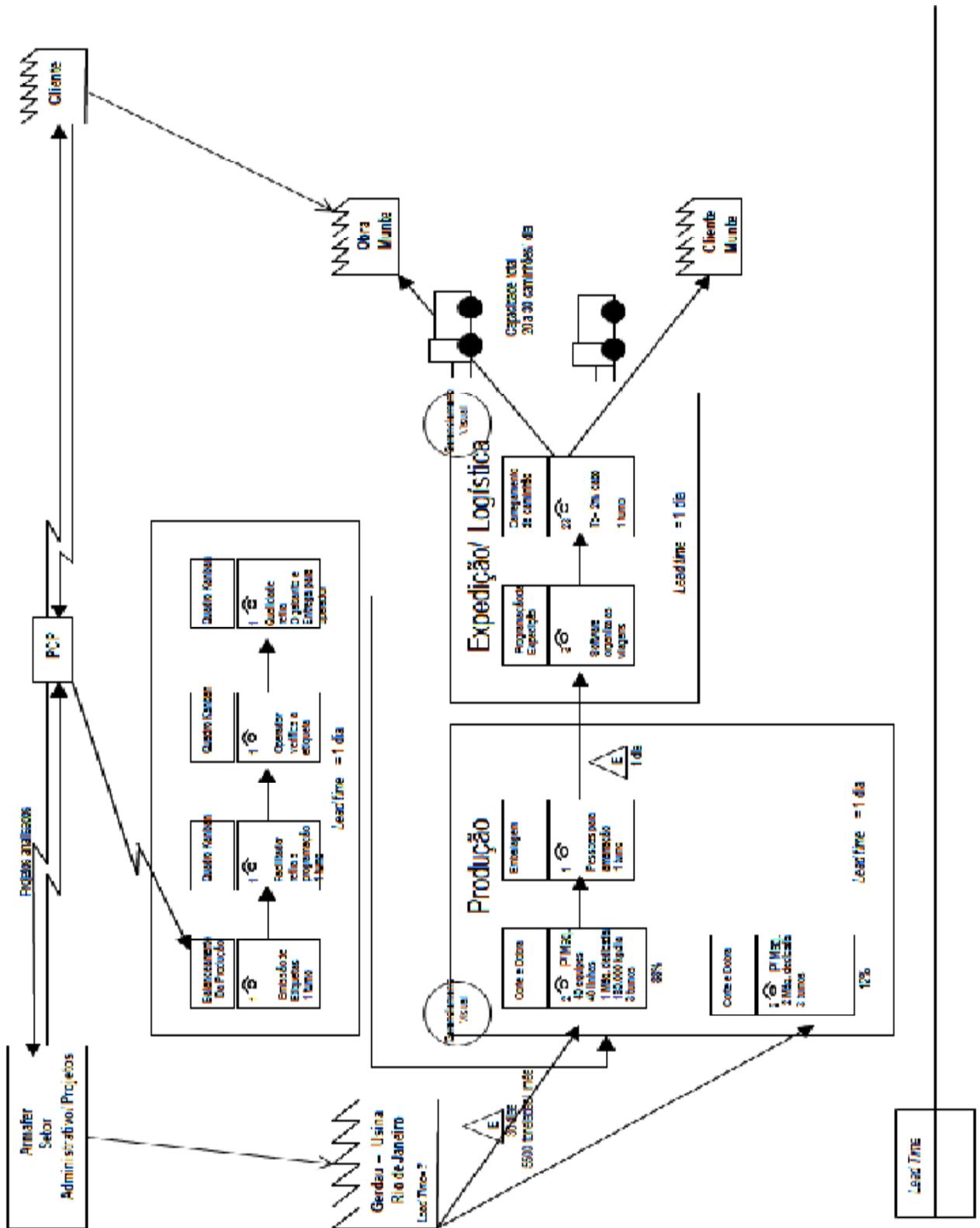


Figura 4.5 Mapa do Fluxo de Valor para a produção de estribos na fabrica

4.2.2 FABRICA DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS

A empresa foco, Fábrica de pré-moldados, foi fundada em 1975, e é considerada uma empresa de grande porte na área de construção. É especializada na fabricação e montagem de obras que utilizam peças em concreto pré-fabricado. A empresa possui duas fábricas para produção das peças pré-moldadas localizadas no estado de São Paulo, nas cidades de Itapevi (SP) e Rafard (SP). A empresa tem um sistema de gestão da qualidade certificado pela norma ISO 9001-2000 desde 2003, e a fábrica de Itapevi (Figura 4.6) é responsável pelas atividades gerenciais e de apoio, que comandam as outras unidades.

A fábrica de Itapevi-SP está localizada em uma área de 17.500 m² e atualmente dedica-se à fabricação de pilares, vigas, telhas e painéis (Figura 4.6). Em 2004, entrou em operação a segunda unidade industrial da empresa, localizada no município de Rafard-SP. A fábrica de Rafard ocupa uma área de aproximadamente 40.000 m² e dedica-se à fabricação de telhas e lajes apenas.



Figura 4.6 Fábrica de Itapevi (SP)

No agente, fábrica de pré moldados de Itapevi SP, iniciou-se a pesquisa com uma entrevista no departamento de Logística e Almoxarifado, para a compreensão do início do fluxo de materiais dentro e fora da fábrica. O objetivo desta entrevista foi conhecer a área, seus responsáveis, bem como, os serviços logísticos prestados (terceirizados e mão-de-obra da própria fábrica). Foi possível também identificar os processos de recebimento e de expedição de materiais. A duração desta entrevista foi de aproximadamente duas horas.

Foi realizada uma entrevista com o departamento de suprimentos, para a primeira compreensão dos processos envolvidos no departamento e entendimento do fluxo de informação que circula por este departamento. A duração desta entrevista foi de aproximadamente duas horas.

Foi realizada uma entrevista no departamento de produção, para a verificação dos líderes e responsáveis pelos processos produtivos. Foi agendado um dia de retorno e efetivo mapeamento, onde os responsáveis da área estariam acompanhando a pesquisadora durante a coleta de dados. A duração desta entrevista foi de aproximadamente duas horas.

Foi elaborado o mapa de fluxo de valor administrativo do processo para a aquisição de materiais comuns e materiais críticos. O desenho do mapa foi concebido, em conjunto, com o responsável do departamento de suprimentos. O responsável de suprimentos realiza as compras de materiais para as fábricas de Itapevi - SP e para a fábrica de Rafard - SP. Portanto, o processo de suprimentos da fábrica de pré-moldados fica centralizado na fábrica de Itapevi - SP. O mapeamento de fluxo de valor administrativo seguiu a metodologia e simbologia recomendada por Womack e Jones (2004), que pode ser encontrada no Anexo A. A duração desta entrevista foi de aproximadamente duas horas.

Foi elaborado o mapeamento de recebimento de materiais básicos e recebimento de materiais críticos: cimento e aço. Este recebimento é realizado

pelo departamento de logística e almoxarifado. Participaram do mapeamento o gerente da área e dois funcionários do departamento. A duração desta entrevista foi de aproximadamente duas horas.

Foi elaborado mapeamento de fluxo de valor dos processos produtivos de peças armadas na fábrica. Os mapas permitiram a visualização dos estoques de aço entre os vários processos da fábrica. Os estoques internos aparecem no macro mapa de fluxo de valor da cadeia de suprimentos, bem como, os estoques de produtos em processo, ou estoques de matéria-prima e os estoques de produtos acabados. A duração desta entrevista foi de aproximadamente quatro horas.

Foi elaborado o mapeamento de fluxo de valor para as atividades de logística. O MFV foi elaborado a partir da visualização dos processos envolvidos no embarque de peças armadas para a obra e do desembarque de matérias-primas para a fábrica. A duração desta entrevista foi de aproximadamente duas horas.

4.2.2.1 MAPA ADMINISTRATIVO DO FLUXO DE VALOR DO DEPARTAMENTO DE SUPRIMENTOS – ESTADO ATUAL

O mapa administrativo de fluxo de valor do departamento de suprimentos está apresentado na figura 4.7, e foi realizado no departamento de suprimentos na fábrica de pré-moldados. Primeiramente, o operário da linha de produção de pré-moldados levanta a necessidade de material, preenchendo um formulário e encaminhando (via e-mail) para o departamento de almoxarifado. O funcionário do almoxarifado verifica no sistema, se existe o estoque deste material, e em caso positivo fornece-o para a linha de produção, em caso negativo, encaminha uma requisição de compra para o departamento de suprimentos da fábrica. Ao receber o pedido, o funcionário do departamento de suprimentos solicita o material: aço. O departamento de suprimento entra em contato com o

fornecedor, via e-mail, faz a solicitação do material, e aguarda a confirmação do recebimento do pedido, bem como, a confirmação da data provável de sua entrega. O fornecedor (fábrica de estribos de aço) ao receber o pedido de fornecimento da fábrica, analisa, verifica o seu estoque e a programação, e responde via e-mail, a data provável de entrega do pedido na fábrica. Na data de entrega do pedido, o departamento de almoxarifado e logística, recebe e confere o material, juntamente com a nota fiscal, e encaminha para o departamento de contas a pagar. No mapa abaixo representado, pode-se observar o tempo entre a identificação da necessidade do material e a entrega efetiva do pedido de compra foi de doze dias (Ver Figura 4.7).



Figura 4.7 Mapa administrativo do fluxo de informações para a aquisição de aço dobrado

4.2.2.2 MAPA DO FLUXO DE VALOR DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PEÇAS ARMADAS

A fábrica de pré-moldados é responsável pela fabricação de peças pré-moldadas (Figura 4.8) para a construção de galpões e obras industriais. No mapa MFV, apresentado na figura 4.9, de fabricação de peças armadas, observam-se

dois fornecedores principais: o fabricante de aço e o fabricante de estribos de aço. O fabricante de estribos é responsável pelo fornecimento de 80% de aço para a fábrica de pré-moldados. O aço dobrado é fornecido e encaminhado diretamente para a linha de produção de vigas (Figura 4.8) e pilares. Os estribos representam 20% do fornecimento de aço para a fábrica.



Figura 4.8 Exemplo de uma viga armada concretada

Os processos produtivos para a confecção de vigas e pilares podem ser observados no MFV produtivo (Figura 4.9). Após a produção, as vigas são encaminhadas para a área de embarque para o encaminhamento às obras. O carregamento do caminhão de transporte é realizado por nove operários, em um tempo variável de 40 minutos à duas horas. Este processo é realizado sempre no primeiro turno, para garantir a entrega do material nas obras no mesmo dia. Em uma obra iniciada, dependendo da demanda, pode receber até vinte carregamentos de peças armadas por dia. Na parte superior do mapa, está representado o fluxo de informações do processo de fabricação de vigas armadas. O cliente final envia informações de prazo para o engenheiro responsável pela obra, o mesmo repassa as informações, de forma eletrônica (via sistema) para o PCP da fábrica, que irá elaborar o planejamento da produção baseado nas expectativas de recebimento dos clientes. Uma vez elaborado o “plano de cargas” para a produção, o departamento de PCP fará a distribuição de peças por linha, de acordo com o planejamento.

Para a realização da execução das vigas pedidas pelo planejamento da produção são solicitados os envios dos projetos das peças armadas. O MFV do processo de fabricação (Figura 4.9) de uma viga armada apresentou um *Lead time* total de quarenta e cinco (45) dias.

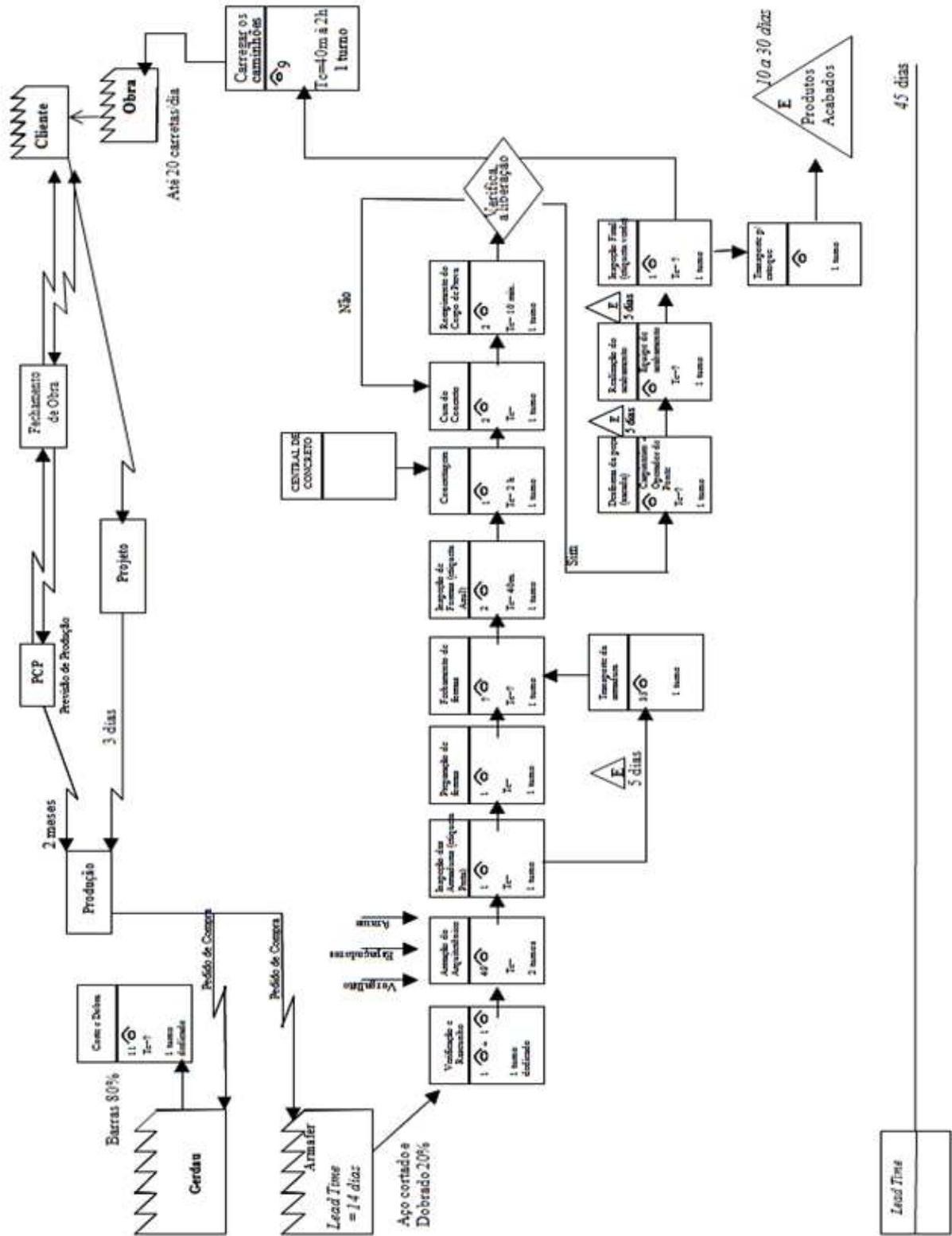


Figura 4.9 Mapa do Fluxo de Valor do processo de fabricação de peças armadas

4.2.3 OBRA

As obras são gerenciadas e executadas pela própria fábrica de pré-moldados, que administra os cronogramas e dispõe de equipe própria de mão-de-obra para a montagem das estruturas. As vigas são enviadas através de carretas, e são descarregadas na obra de destino. Uma vez descarregadas na obra, as vigas obedecem a um cronograma de montagem, e são posicionadas com o auxílio de guinchos e caminhões *Munk*. Na Figura 4.10 observa-se um exemplo de montagem de elementos de concreto pré-fabricados.



Figura 4.10 Exemplo da montagem de uma viga armada em obra

Na Figura 4.11, observa-se uma foto ilustrativa de uma estrutura montada pela fábrica de pré-moldados para uma rede de supermercados em São Paulo - SP.



Figura 4.11 Exemplo da montagem de estrutura de supermercados

4.2.3.1 MACRO MAPA DE FLUXO DE VALOR DO ESTADO ATUAL (MMEA)

Na figura 4.12, apresentou-se o macro mapa de fluxo de valor do estado atual (MMEA). No MMEA observaram-se todos os agentes envolvidos na cadeia de suprimentos de estribos de aço para a produção de vigas pré-moldadas armadas. O primeiro agente identificado, locado na segunda camada de fornecimento, foi o fabricante de bobinas de aço, localizado no Rio de Janeiro (RJ).

O sistema informatizado utilizado pelo fabricante de aço e pelo fabricante de estribos de aço é o mesmo. Ainda na primeira camada de fornecimento foram identificados quatro agentes que tem impacto direto na cadeia de suprimentos de aço dobrado para a fábrica de pré-moldados. O agente da primeira camada de fornecimento é o fabricante de estribos de aço, que foi anteriormente mapeado, conforme já foi identificado o *Lead time* para entrega dos estribos dobrados foi de onze dias.

O agente seguinte é a fábrica de Pré-moldados de concreto, empresa foco. Na fábrica foram observados os departamentos que estão diretamente envolvidos

com o processo produtivo. Os departamentos da fábrica de pré-moldados analisados foram: departamento de suprimentos, departamento de almoxarifado, departamento de logística e departamento de produção. Cada um dos departamentos identificados foi mapeado, em função de sua participação do processo de suprimentos de aço dobrado para a linha de produção de vigas genéricas.

Observou-se o *Lead time* no departamento de suprimentos de 14 dias, no departamento de produção um *Lead time* máximo de 45 dias e estoques locados entre os processos que variavam de dez e trinta e cinco dias. O *Lead time* final do almoxarifado não foi representado, pelo fato de se apresentar muito variável, devido a grande variedade de produtos e materiais envolvidos no armazém. O *Lead time* da logística foi calculado em um dia. Para a obra mapeada, verificou-se um estoque de trinta e cinco dias de aço dobrado (estribos), em campo. O último agente identificado na cadeia de suprimentos analisado foi o cliente final. A cadeia de suprimentos analisada apresentou um *Lead time* total de 119,9 dias, ou seja, desde o fornecimento das bobinas de aço até sua entrega em obra, como componente estrutural.

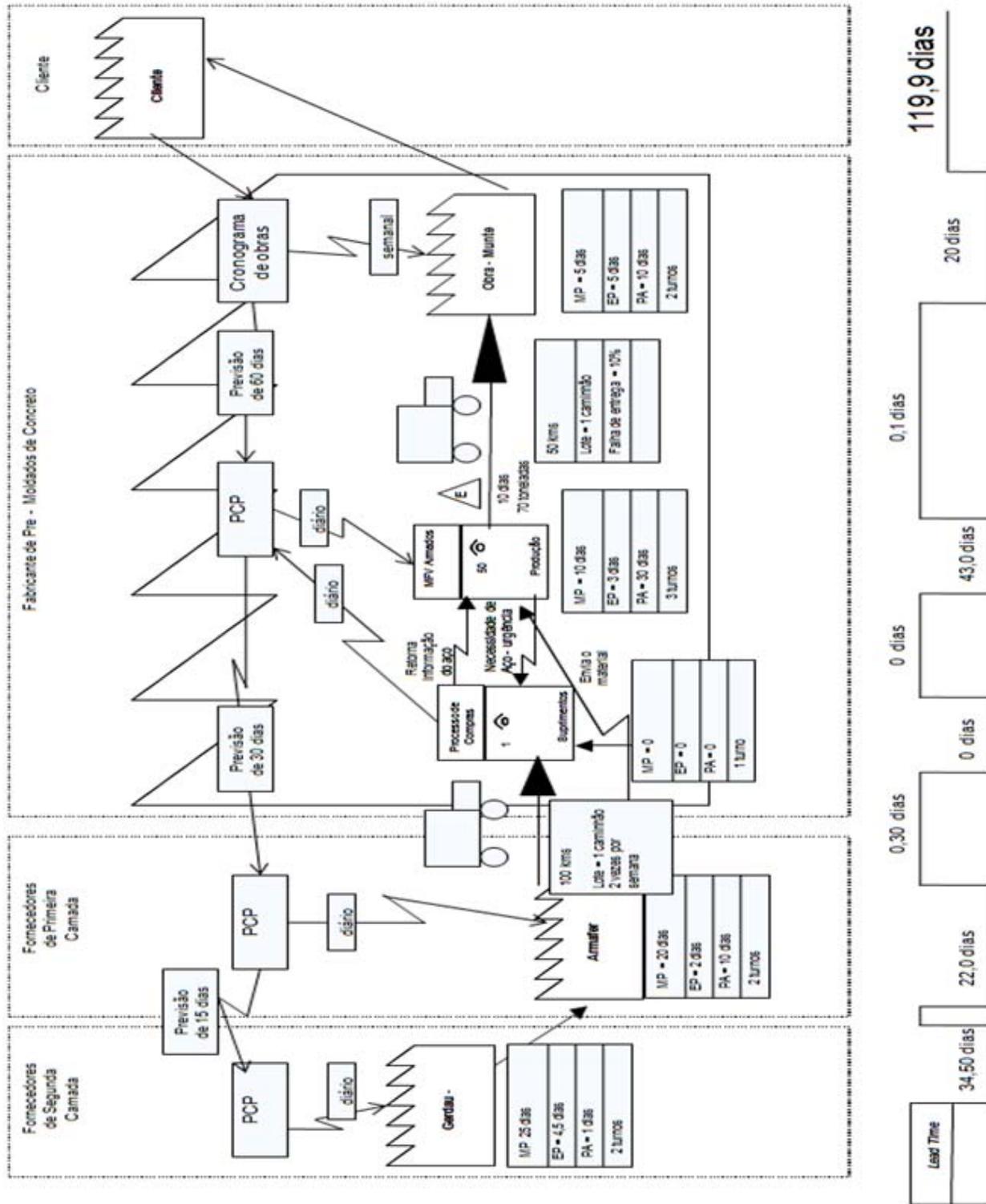


Figura 4.12 Macro mapa de fluxo de valor para a cadeia de suprimentos estribos

4.3 MODELO E DOCUMENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

4.3.1 INDICADORES DE DESEMPENHO PARA A CADEIA DE SUPRIMENTOS DO PRIMEIRO ESTUDO DE CASO

Durante a realização do primeiro estudo de caso, encontrou-se muita dificuldade em medir-se os indicadores da cadeia de suprimentos, pois os indicadores sugeridos no referencial teórico se mostraram de difícil acompanhamento nos agentes da cadeia de suprimentos. Primeiramente, encontraram-se poucos históricos dos estoques confiáveis. Os indicadores selecionados na revisão bibliográfica, que puderam ser observados neste estudo de caso foram:

- Volume de estoques;
- *Lead time* total;
- Giro de estoque;
- Nível de serviço da cadeia de suprimentos.

4.3.2 MODELAGEM DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE PRÉ-MOLDADOS PARA ESTRIBOS FORNECIDOS DOBRADOS

Os dados utilizados para a modelagem inicial (Figura 4.14) foram obtidos através de entrevistas semi-estruturadas e mapas de fluxo de valor dos processos produtivos e administrativos, levantados junto ao fabricante de pré-moldados e seus fornecedores.

Através do modelo inicial tentou-se representar, de uma forma geral, o funcionamento atual da cadeia. O modelo proposto foi qualitativo, e não envolveu a análise de dados quantitativos. O sistema foi definido pelas várias relações entre agentes do sistema. Na primeira modelagem houve a

tentativa de se considerar além dos indicadores propostos na pesquisa bibliográfica, as demais variáveis:

- Produtividade da fábrica;
- Taxa de produção de vigas desejadas;
- Força de trabalho;
- Contratações;
- Preço do aço.

Entretanto, as variáveis selecionadas mostraram-se inviáveis durante a coleta de dados. Uma vez que a modelagem, segundo Law (2005), deve ter clareza de dados e facilidade na obtenção. A dificuldade na obtenção dos dados dificultou a modelagem, e a posterior validação do modelo proposto. Decorrente da interrupção do processo de validação obteve-se apenas o cenário atual.

4.3.2.1 CENÁRIO ATUAL

No cenário atual proposto, observou-se uma demanda crescente por parte do primeiro agente (cliente) por edificações pré-fabricadas, e a elevação do preço do aço, que por sua vez tende a elevar os custos unitários de produção dos estribos de aço para a construção civil, após algum tempo. O aumento dos custos de estribos força os fabricantes de peças pré-moldadas (segundo agente) a tentar aumentar a produção de modo a manter sua renda líquida (supõe-se que o capital empregado não pode ser facilmente transferido para outras atividades). Mas para fazê-lo, é preciso aumentar o consumo do concreto e mão-de-obra, o que agrava o problema de estoques, pois o fabricante de peças pré-moldadas tenderá a fazer um estoque de peças em sua fábrica ou na obra (quarto agente), adiantando-se na subida do preço do aço. Todas estas atividades são dependentes dos fluxos de informação (planejamento de produção e de projetos).

Observou-se que este ciclo não se deve, necessariamente, ao fato de que o preço do aço oscilar, mas à inconsistência entre interesses individuais e interesse coletivo. Mesmo que um fabricante de aço (terceiro agente) se conscientizasse da gravidade do problema e passasse a racionalmente programar os custos e, se os demais não tivessem a mesma atitude, o custo do produto para o cliente final (primeiro agente) aumentaria de qualquer modo. Isto indica que, nessas condições, a estratégia dominante para cada indivíduo será aumentar a produção e o custo do recurso em longo prazo (ver Figura 4.13).

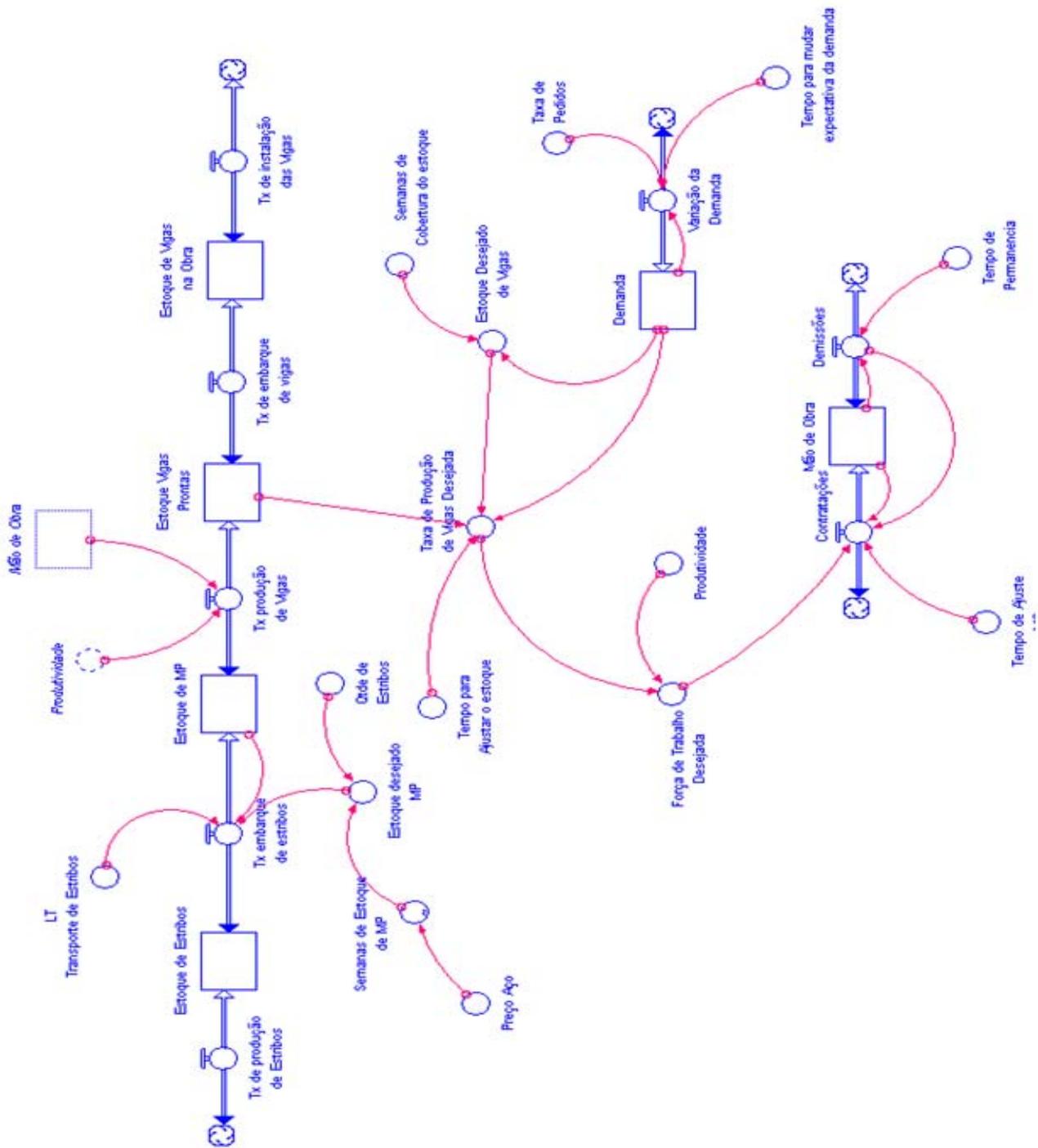


Figura 4.13 Primeira modelagem de dados para a cadeia de suprimentos do cenário atual da cadeia de suprimentos de aço

4.4 DISCUSSÃO

Observa-se a necessidade do modelo considerar o tempo entre pedidos (Intervalos entre pedidos), e tempo de reposição do material na fábrica, uma vez que somente se considerou os atrasos constantes.

O cenário atual apresentou uma previsão de estoques e custos para disponibilizar espaços disponíveis para os mesmos, mas a variabilidade e a condição dos lotes ficaram desconectadas com as condições do modelo. O *Lead time* da cadeia de suprimentos não apresentou resultados válidos na modelagem.

Outra dificuldade durante a modelagem da cadeia de suprimentos foi os agentes trabalharem de forma independente, e não conseguirem visualizar a interação com os outros processos dos participantes do sistema, dificultando a modelagem do sistema em si.

A modelagem do primeiro estudo de caso ficou vinculada a indicadores financeiros (preço do aço) e de volumes de estoque, devido aos dados coletados entre os agentes participantes do estudo de caso. A análise de cenário atual possibilitou uma melhor compreensão do funcionamento das cadeias produtivas e uma melhor definição dos estoques necessários para o funcionamento das suas atividades.

Os indicadores iniciais propostos na referência bibliográfica (quatro principais) não puderam ser medidos devido a dificuldade de se obter informações precisas nos agentes envolvidos na pesquisa. Mas, foram detectados com indicadores de grande relevância para a mensuração do desempenho da cadeia de suprimentos.

O primeiro estudo de caso preliminar auxiliou na definição e validação dos indicadores escolhidos, a partir da revisão bibliográfica, e também auxiliou na exclusão de indicadores financeiros e indicadores relativos ao comportamento da mão-de-obra.

Na conclusão do primeiro estudo de caso preliminar, verificou-se a necessidade da utilização dos seguintes indicadores para o estudo de caso principal: *Lead time*, volume de estoques, giro de estoques e nível de serviço. Também permitiu concluir a necessidade de excluir indicadores financeiros e de produtividade da cadeia de suprimentos neste modelo proposto.

O estudo de caso permitiu compreender as relações de fornecimento e os mecanismos de reposição parcialmente. Durante este estudo ficou notório os problemas encontrados no fluxo de informação entre agentes, e as estimativas de tempos relatados pelos participantes da cadeia de suprimentos.

Observou-se ainda que existe um grande potencial para a aplicação das ferramentas *Lean*, tais como, MFV e o *kanban*, para otimizar e simplificar os processos administrativos e produtivos desta cadeia de suprimentos.

5 SEGUNDO ESTUDO DE CASO PRELIMINAR– CADEIA DE SUPRIMENTOS DE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA

Para o segundo estudo de caso preliminar selecionou-se uma cadeia de suprimentos da construção civil responsável pelo fornecimento de argamassa industrializada para o assentamento de pisos cerâmicos em obras civis.

A escolha da cadeia de suprimentos de argamassa industrializada ocorreu devido a sua relevância no contexto do setor da construção civil. Em 2009, no Brasil, o consumo de agregados naturais somente na produção de concreto e argamassa é da ordem de 220 milhões de toneladas anuais¹.

No setor da construção civil, as argamassas têm finalidades diversas, sendo empregadas durante a execução da edificação, desde a implantação do canteiro até a conclusão da obra. Segundo ABNT/NBR 13529 (1995), define-se a argamassa para revestimento como sendo “uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”; por outro lado, define argamassa colante como sendo uma “mistura constituída de aglomerantes hidráulicos, agregados minerais e aditivos, que possibilita, quando preparada em obra com adição exclusiva de água, a formação de uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de peças cerâmicas e de pedras de revestimento.”

¹ Revista Finestra ed. nº 50 - <http://www.ecoesfera.com.br/imprensa/?construcao-civil-e-o-setor-que-mais-consome-recursos-naturais-no-mundo>, consultado em Junho de 2009.

O segundo estudo de caso contemplou uma análise dos impactos da aplicação das ferramentas *Lean*, uma vez que os agentes envolvidos na cadeia de suprimentos de argamassa industrializada já implementam as ferramentas *Lean* na cadeia de suprimentos. Analisou-se esta cadeia de suprimentos, com as empresas interligadas, o que possibilitou uma coleta de dados mais homogênea e facilitada.

Todos os agentes da cadeia de suprimentos de argamassa industrializada pertencem ao mesmo grupo. O Grupo iniciou suas atividades no Brasil em 1937. Os agentes da cadeia de suprimentos de argamassa para o segundo estudo de caso preliminar foram: fábrica de argamassa, centro de distribuição, Loja de materiais de construção e cliente (Figura 5.1).

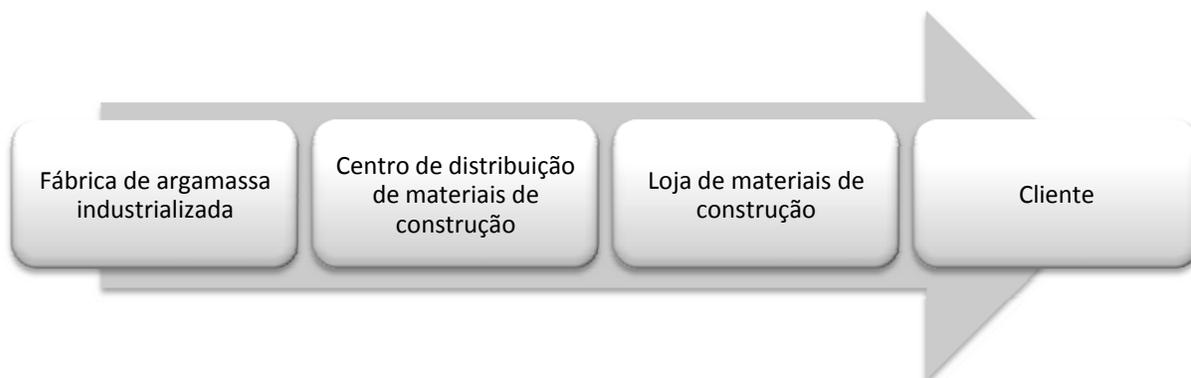


Figura 5.1 Agentes participantes do segundo estudo de caso

5.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA A SER INVESTIGADO

O foco da investigação foi avaliar o impacto da aplicação das ferramentas *Lean* no desempenho da cadeia de suprimentos real. Parte da complexidade da implantação *Lean* e seus resultados podem ser observados neste estudo de caso preliminar.

5.2 COLETA DE INFORMAÇÕES

A coleta de informações foi realizada em cada um dos agentes participantes. No segundo estudo de caso preliminar foi investigado cada um dos agentes, e buscou-se coletar as informações ligadas ao fluxo de informação e materiais da argamassa industrializada, para extrair os comportamentos resultantes nos agentes empenhados em implementar e manter os procedimentos *Lean* em seu fluxos de materiais e informações.

5.2.1 AGENTES

5.2.1.1 FABRICANTE DE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA

O fabricante de argamassa industrializada foi fundado em 1937, após a compra da moagem de minérios– no bairro da Lapa, na capital de São Paulo. Seu trabalho inicial foi o fornecimento de quartzo moído para a restauração do mais importante viaduto da época em São Paulo, o Viaduto do Chá. Desde então, a fábrica conquistou o reconhecimento pela qualidade dos seus produtos entre todos os que atuam no cenário da construção civil brasileira, com técnicos responsáveis, empreendedores, institutos de pesquisas, e toda a cadeia de distribuição de materiais de construção.

Desde a década de 40, a empresa visa racionalizar os procedimentos em canteiros de obras, construções e reformas. Na primeira metade do século 20, foi a primeira fornecedora de argamassas para revestimento de acabamento fino e raspado, pré-dosadas e ensacadas. Em 1972, lançou uma de suas linhas de maior sucesso, argamassa colante para assentamento de placas cerâmicas, e que gerou uma inovação para o mercado da época. Vários outros lançamentos sucederam-se direcionados para diversas aplicações em construções novas, reformas e para o mercado da bricolagem, sempre dentro do conceito de trabalho mais rápido e mais prático. Além disso, a empresa vem investindo em pesquisas com o objetivo de antecipar as necessidades do mercado. A Empresa tem

buscado a ampliação de sua linha de produtos e de sua cobertura geográfica no território brasileiro, em um total de 18 unidades. O fabricante de argamassa dispõe de inúmeras unidades fabris e uma complexa rede de distribuição de distribuição para atender o mercado brasileiro (Figura 5.2).



Figura 5.2 Mapa da localização das fábricas e centros de distribuição (Lean Summit, 2008).

As unidades brasileiras compreendem em 25 (vinte e cinco) empresas operacionais, com 13 mil colaboradores. O fabricante de argamassa industrializada, em 2005, iniciou a implementação de uma estratégia de redução de desperdícios e custos. Este projeto foi denominado WCM – *World Class Manufacturing*. O projeto WCM contempla a implementação dos princípios *Lean* e ferramentas em seus processos produtivos e administrativos.

Para alcançar todos os objetivos descritos anteriormente, a empresa motivou as pessoas envolvidas, e uma realizou de uma análise da documentação existente e dos procedimentos nos processos existentes para sua adequação conforme a filosofia *Lean*. Para a implementação do projeto *Lean*, foi criada uma figura facilitadora do coordenador *Lean* para acompanhar e contribuir na tomada de decisões estratégicas do gerente de projeto.

O início desta implementação *Lean* compreendeu unidades fabris do Brasil e Argentina, e teve como intuito principal aumentar a competitividade da empresa como um todo (ver Figura 5.3). Definiu-se objetivos principais para a implementação *Lean* como um todo:

- Motivar as pessoas através do envolvimento do projeto, a partir da definição das responsabilidades, desenvolvimento da comunicação e padronização das atividades;
- Sustentar o programa a partir dos pilares do WCM;
- Buscar a excelência operacional através da melhoria contínua.



Figura 5.3 Mapa das Implementações Lean da Empresa Weber Quartzolit Brasil.

No início da implementação *Lean* foram realizados treinamentos para a disseminação da filosofia *Lean* entre os colaboradores. Participaram do treinamento cerca de 490 colaboradores, totalizando 3.414 horas de treinamento, ou seja, uma média de 7,0 horas de treinamento por colaborador.

Durante a implementação foram encontradas dificuldades, tais como, mudança da mentalidade dos colaboradores e necessidade de modificações nos procedimentos existentes. Para minimizar as barreiras relatadas foram promovidas reuniões de apoio com a alta direção, bem como, inúmeras sensibilizações com as equipes, e envolvimento e compreensão do departamento comercial como um todo também. Os resultados da implementação *Lean*, foram o aumento da produção de argamassa industrializada, principalmente, na unidade de Jandira (SP).

5.2.1.2 CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

O centro de distribuição de materiais de construção pertence também ao mesmo grupo de empresas da cadeia de suprimentos de argamassa. O centro de distribuição foi fundado em 1976 e atualmente, é uma das maiores redes de distribuição de materiais de construção brasileira. O centro de distribuição da conta com 3400 colaboradores, e distribui aproximadamente cerca de 45.000 produtos, mensalmente, para as lojas de materiais do setor de construção civil (Figura 5.4).



Figura 5.4 Foto aérea do Centro Logístico de Distribuição em Jundiaí (SP).

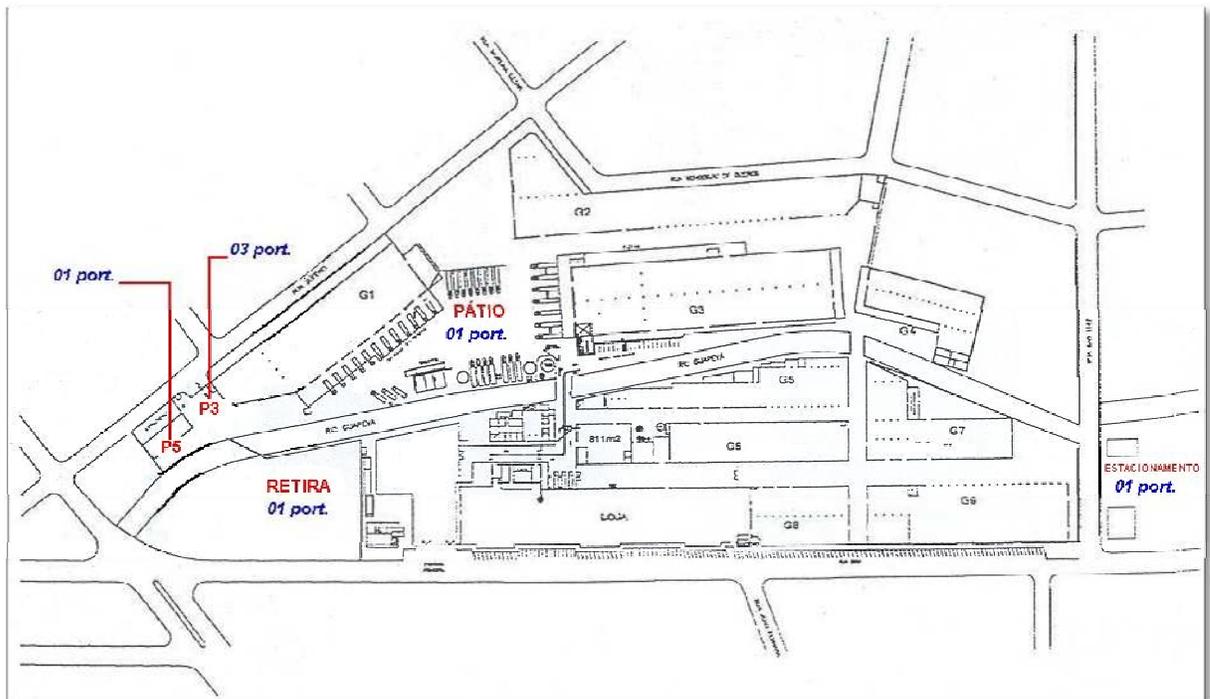


Figura 5.5 Lay-out do Centro Logístico de Distribuição de Jundiaí (SP).

Na Figura 5.5 apresenta o *lay-out* do centro de distribuição. O centro de distribuição iniciou o seu processo de implementação da mentalidade enxuta pelas diretrizes do projeto “*World Class Distribution*”, em Novembro de 2005. O

projeto “*World Class Distribution*”, é um projeto estratégico que o grupo definiu para difundir procedimentos e planos de ação que contemplem a melhoria contínua e redução dos desperdícios.

5.2.1.3 ARGAMASSA E O CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

A área destinada para armazenagem de argamassas também participou da implementação *Lean*. A argamassa é um material de grande movimentação no Centro Logístico de Distribuição. Para esta área foi sugerida uma reestruturação de atividades e processos para aumento da capacidade física do armazém e diminuição do tempo de embarque e desembarque dos materiais para o cliente final.

Na figura 5.6 estão representados os espaços destinados a armazenagem de argamassa e sacarias em geral. Entretanto, existem um problema sério, pois estes materiais ficam descobertos e sujeitos as intempéries, e portanto, resulta na eventual deteriorização do material antes de ser consumido. As argamassas são materiais que necessitam ser acondicionados em lugares secos, e em *pallets* que comportem pilhas de cinco sacos no máximo.

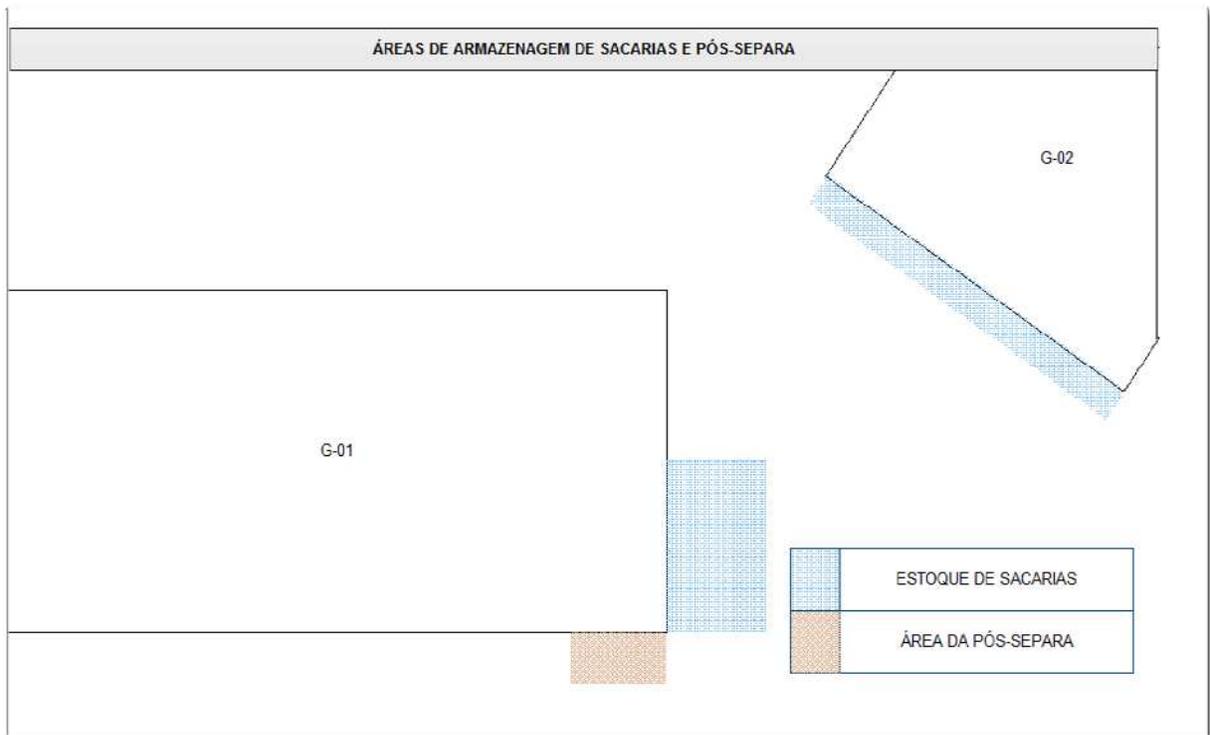


Figura 5.6 Lay-out do posicionamento das argamassas no galpão principal

Ao analisar o material foco do segundo estudo de caso preliminar, observou-se a implementação *Lean* para este material concomitante com a implementação descrita anteriormente para os demais produtos. Este projeto piloto contemplou a área de armazenagem de argamassas e rejuntas em geral (sacarias). O mapa de fluxo de valor do processo de armazenagem e transporte de argamassas e rejuntas contemplou apenas os processos principais, e não teve a medição dos tempos de processo.

O processo iniciou-se com a entrega do carregamento das sacarias por parte dos fornecedores, a entrega é feita diariamente. O recebimento fiscal recebe a documentação e faz a liberação da carga. Os colaboradores do armazém, que recebem o material e armazenam os produtos nos endereços já pré-determinados, caso exista a necessidade de realocar os produtos, os mesmos são realocados nos espaços disponíveis. Os mesmos funcionários são responsáveis pela organização do armazém também.

Normalmente, cria-se um estoque intermediário de argamassa e rejuntas que aguarda o seu correto posicionamento (os materiais em espera nem sempre estão em locais apropriados, podem estar dispostos a céu aberto, o que compromete a sua conservação e prazo de validade). Uma vez armazenados no local apropriado, ao receberem o pedido de embarque são conduzidos, através de empilhadeiras para a área de *Picking*, onde aguardam a sua chamada para embarque. Uma vez com os pedidos em mãos, os colaboradores posicionam os rejuntas nas docas, que serão embarcados, com empilhadeiras.

Os materiais já posicionados nas docas são embarcados em carretas, e encaminhados para os clientes finais, que podem ser construtoras ou até o pequeno comprador (destino: pequenas reformas e construções).

5.3 DISCUSSÃO

Este estudo de caso teve como objetivo investigar uma cadeia de suprimentos que, atualmente, realiza a implementação *Lean* em todos os seus processos e em conjunto com seus fornecedores. O agente fabricante de argamassa e o agente centro de distribuição iniciaram a implementação há quatro anos (em Novembro de 2005), e atualmente, apresentam resultados positivos com relação a redução de desperdícios e tempo de produção. Este estudo de caso contribuiu para a análise de comportamentos entre os agentes que realizam a implementação de ferramentas *Lean*, tais como, MFV e *kanban*.

Muitos comportamentos e relações de trabalho bem sucedidas foram observadas, e expressas na modelagem do estudo de caso principal do capítulo 6. Os comportamentos observados contribuíram para a realização dos modelos, do estudo de caso principal.

Portanto, este segundo estudo de caso preliminar resultou no processo de aprendizagem e observação das relações entre agentes que implementam o *Lean* como filosofia, e também permitiu validar e exemplificar cadeias de suprimentos na construção civil que adotam em suas operações, externas e internas, os princípios *Lean*.

6 TERCEIRO ESTUDO DE CASO – CADEIA DE SUPRIMENTOS DE PISO CERÂMICO

Na continuidade da pesquisa, elaborou-se um estudo de caso, onde foi selecionada uma cadeia de suprimentos da construção civil responsável pelo fornecimento de pisos cerâmicos. A escolha da cadeia de suprimentos de pisos cerâmicos se deu em função da sua relevância no contexto do setor da construção civil e da acessibilidade dos dados nas empresas participantes da cadeia. Os materiais cerâmicos são amplamente utilizados pela indústria de construção civil no Brasil (MITIDIÉRI; CAVALHEIRO, 1988).

Apesar da relevância dos materiais cerâmicos na execução das obras civis, observa-se, que os problemas na gestão de produção, tais como, perda de materiais, desperdícios e falta de conhecimento ao longo de todo o processo produtivo, são ainda muito recorrentes ao longo do processo.

O objetivo deste estudo de caso foi analisar impactos nos indicadores da cadeia de suprimentos. Na seleção da cadeia de suprimentos para o estudo de caso, buscou-se também uma cadeia de suprimentos que tivesse os agentes da cadeia pertencentes ao mesmo grupo de empresas e que possibilitassem uma coleta de dados mais homogênea e facilitada.

Os agentes da cadeia de suprimentos de pisos cerâmicos selecionada para este estudo de caso foram: Moedora de argila, Fábrica de pisos cerâmicos fábrica de pisos cerâmicos, centro de distribuição e loja de materiais de construção da *Leroy Merlin* e cliente final (Figura 6.1).



Figura 6.1 Agentes da cadeia de suprimentos de piso cerâmico e centro de distribuição

Entretanto, a simulação será realizada apenas nos agentes: centro de distribuição de materiais, loja de materiais de construção e o cliente final (Figura 6.2).

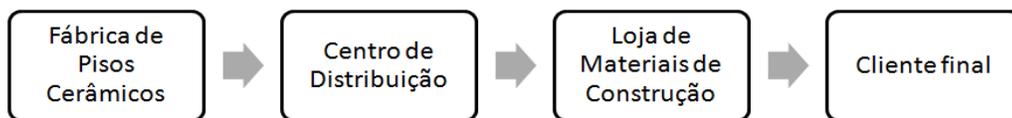


Figura 6.2 Agentes da cadeia de suprimentos selecionados para a simulação

O terceiro estudo de caso seguiu a metodologia apresentada na Figura 6.3.

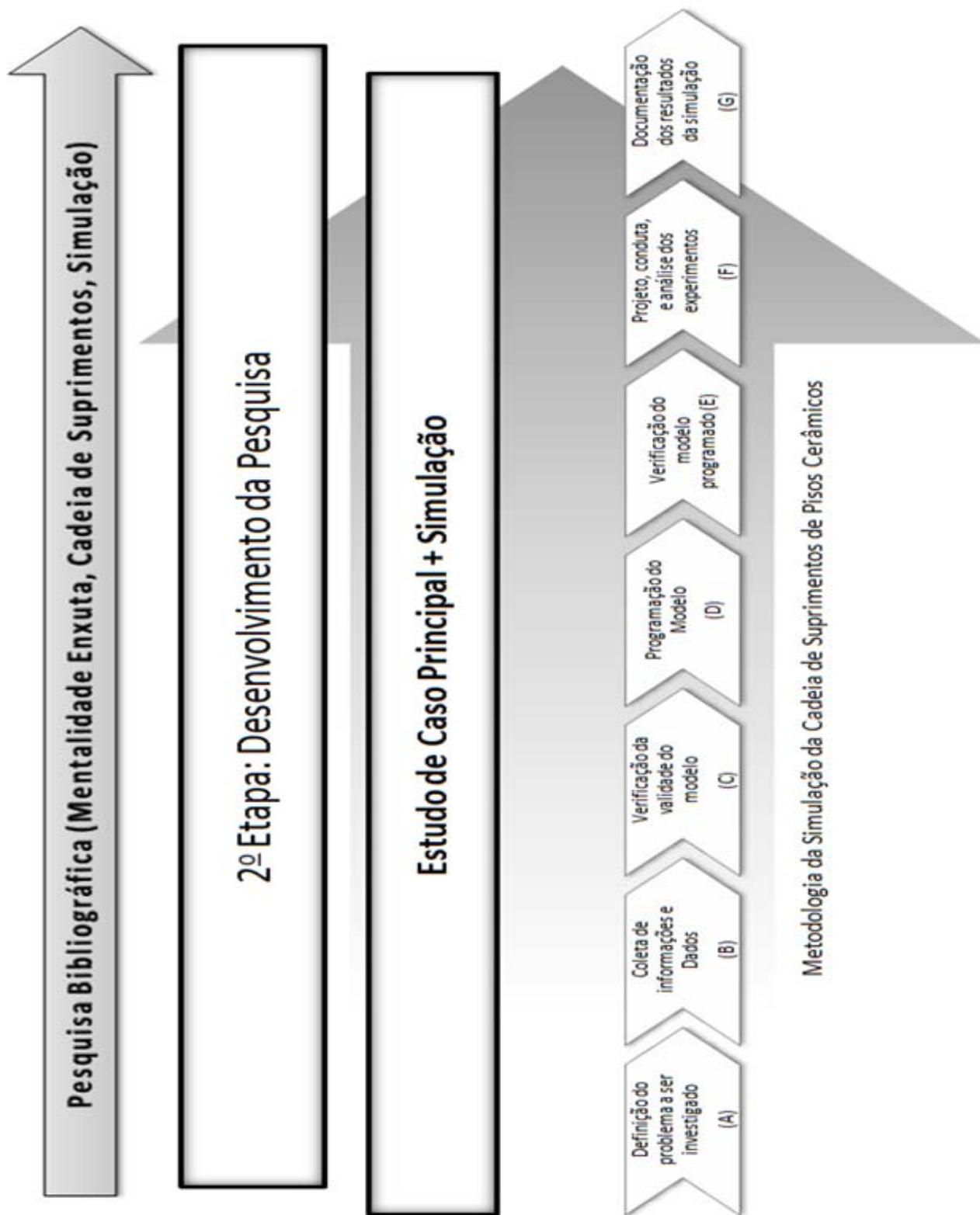


Figura 6.3 Metodologia de pesquisa para o segundo estudo de caso

6.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA A SER INVESTIGADO

O problema deste estudo de caso foi definido em função do objetivo proposto para o desenvolvimento da tese. O foco da investigação foi avaliar o impacto da aplicação das ferramentas *Lean* no desempenho da cadeia de suprimentos de pisos cerâmicos, uma vez que, inúmeros desperdícios são encontrados nos diversos segmentos da cadeia. Foi considerada a complexidade da implantação *Lean* em uma cadeia de suprimentos real, e empregada a simulação como uma ferramenta capaz de demonstrar os possíveis resultados a partir da implementação *Lean* no sistema proposto.

6.2 COLETA DE INFORMAÇÕES

A coleta de informações foi realizada em cada um dos agentes participantes deste estudo de caso. No estudo de caso, foram investigados os agentes, bem como, analisadas as informações referentes ao fluxo de produção e distribuição de pisos cerâmicos, com o objetivo de extrair dados pertinentes para a modelagem dos comportamentos dos fluxos envolvidos. Conforme já mencionado, foram analisadas as informações do seguinte produto escolhido: piso Alabama, medida (50x50 cm).

O piso Alabama (50x50) foi selecionado por indicação do agente fabricante de pisos, por representar cerca de 45% da produção total de pisos cerâmicos. E também devido a grande demanda requisitada pelas lojas de materiais de construção, mensalmente. A demanda mensal de piso Alabama (50x50cm) é de aproximadamente, 17.000 m², destinado por loja para o consumidor final.

Segue na figura 6.4, o desenho esquemático da cadeia de suprimentos do piso cerâmico, destinado para um das lojas requisitantes, e dados pertinentes a cadeia de suprimentos estudada, segundo a metodologia de Goldsby; Martichenko (2005).

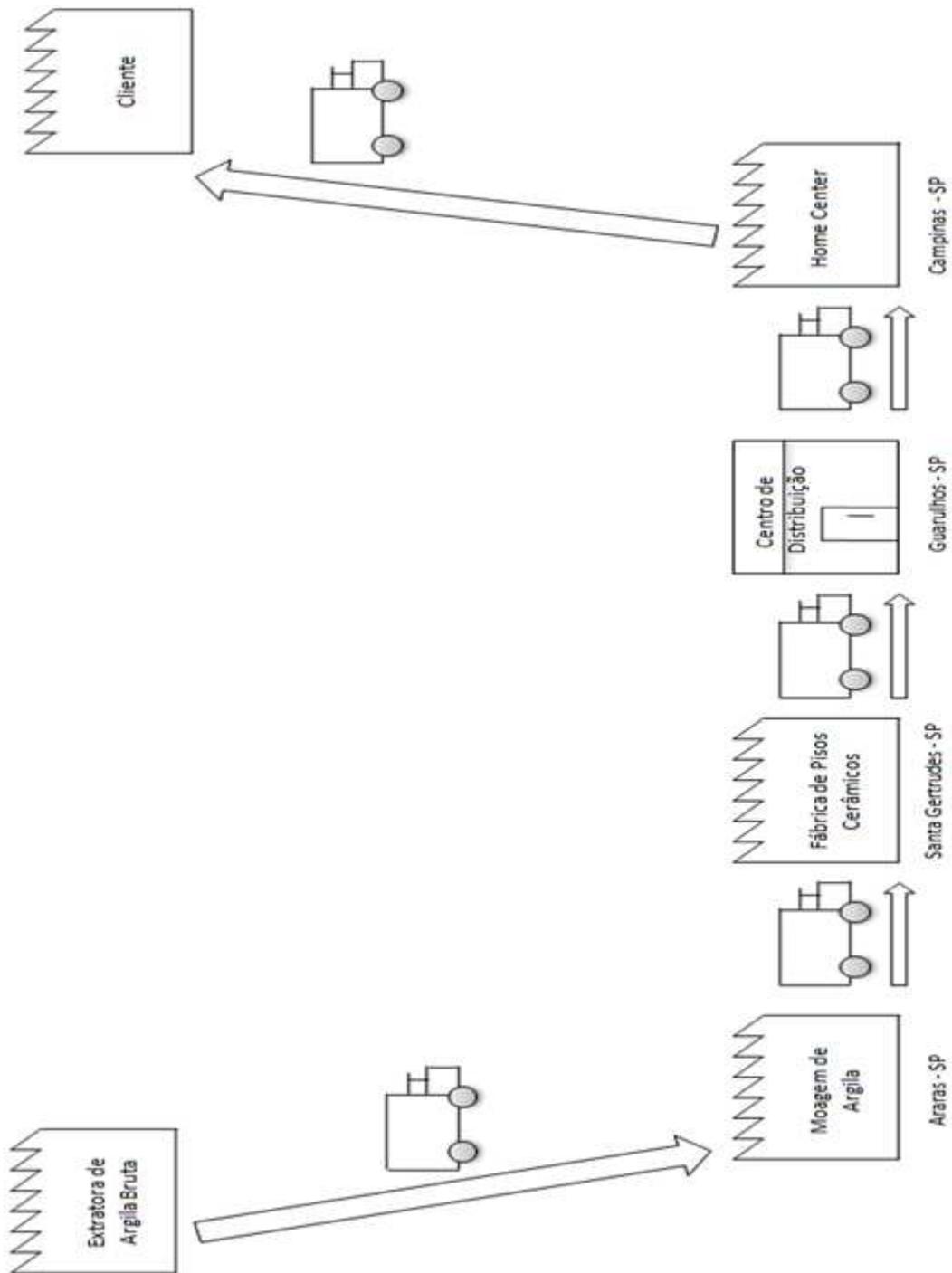


Figura 6.4 Esquema da cadeia de suprimentos de piso cerâmico tipo “Alabama” (50x50)cm na cadeia de suprimentos de pisos cerâmicos

6.2.1 AGENTES DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE PISO CERÂMICO

6.2.1.1 EXTRATORA DE ARGILA BRUTA

A empresa extratora de argila bruta também é uma empresa do grupo *fábrica de pisos cerâmicos*. O local de extração está aproximadamente a 10 km da unidade que realiza a moagem da argila bruta. A localização próxima das unidades faz redução dos gastos com transporte. Mas, esta unidade não foi contemplada no estudo de caso principal.

6.2.1.2 MOEDORA DE ARGILA

A empresa de moagem de argila é também uma empresa do grupo *fábrica de pisos cerâmicos*. A empresa está localizada a cerca de 20 km da fábrica, na cidade de Araras – SP. Para a realização da moagem e preparação da argila para a fábrica é incorporada a água na preparação da matéria bruta para a transformação em argila beneficiada. A quantidade de água utilizada é variável, dependendo da umidade da argila encontrada.

6.2.1.3 FÁBRICA DE PISOS CERÂMICOS

A abundância da argila da região atraiu muitas empresas que fundaram em Santa Gertrudes as primeiras cerâmicas, durante o início do século passado. Além da fábrica da *Fábrica de pisos cerâmicos*, outras fábricas também se estabeleceram na cidade de Santa Gertrudes.

A princípio, as fábricas cerâmicas fabricavam somente telhas paulistas e francesas. Mais tarde os primeiros lajotões coloniais começaram a ser produzidos, com dimensão de 30 X 30 centímetros. Eles eram feitos em "forno garrafão", cujo peso por metro quadrado variava de 27 a 30 Kg.

A partir de 1986, a produção de cerâmicas da região modernizou-se, e substituiu a produção artesanal pelo sistema de monoqueima. A região é responsável pela produção e comercialização de mais de 23 mil toneladas de argila beneficiada por mês. A produção cerâmica da região destina-se ao mercado interno e também à exportação e é responsável por produzir em torno de 45% do

volume nacional de pisos cerâmicos no Brasil. Atualmente, a região de Santa Gertrudes – SP emprega diretamente cerca de 4.000 trabalhadores e gera aproximadamente 5.000 empregos indiretos, tendo uma produção mensal de sete milhões de metros quadrados de pisos e revestimentos. Agregam-se às indústrias cerâmicas, mais 250 indústrias de pequeno porte e micro-empresas, na sua maioria voltada ao desenvolvimento de corantes e pigmentos para pisos e revestimentos aí produzidos.

A fábrica de pisos cerâmicos está localizada na cidade de Santa Gertrudes, e tem uma capacidade produtiva de 832.520 m² de piso/ mês. Na fábrica, atualmente, trabalham 300 funcionários, distribuídos em três turnos. O processo produtivo pode ser definido em sete grandes etapas, que serão descritas na Figura 6.5.

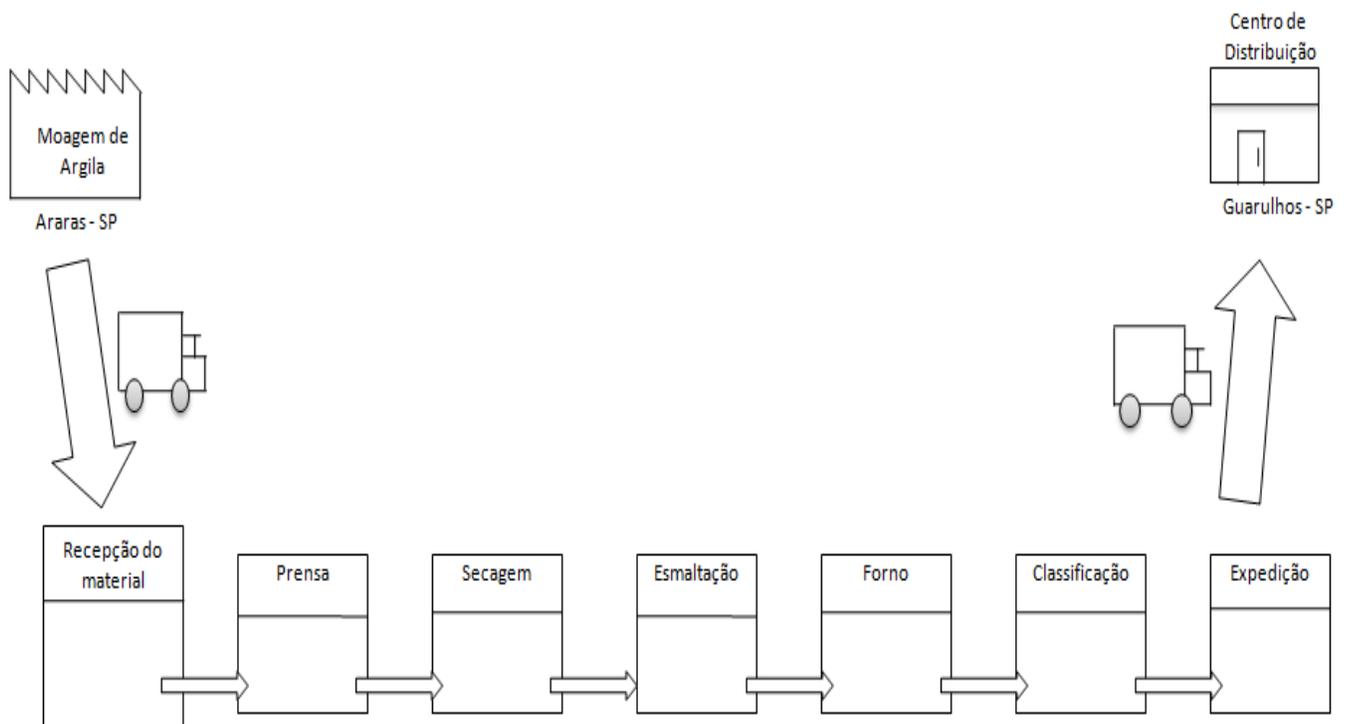


Figura 6.5 Processo produtivo da fábrica de pisos cerâmicos

6.2.1.3.1 RECEBIMENTO DA ARGILA

As carretas chegam à fábrica com 22.000 quilos de argila beneficiada (Figura 6.6). Durante o dia são entregues cerca de 20 a 22 carretas de matéria-prima, que são diretamente, destinadas para a produção. A cada 50 minutos, é entregue uma carreta de argila na fábrica para a produção de pisos cerâmicos. A argila vem do site de moagem de argila que está localizado a 20 km da fábrica de pisos cerâmicos em Araras (SP). O nível de serviço informado da moagem para a fábrica é de 100%.



Figura 6.6 Descarregamento da argila

Assim que a argila chega, são armazenados seis grandes silos, com capacidade de 10 toneladas cada.

6.2.1.3.2 PRENSA

Assim que a argila é encaminhada para a produção, ela é adicionada com outros materiais e encaminhada para a prensa. Antes de realizar o processo com a prensa, é necessário determinar a dimensão de piso, que será confeccionado. Para a determinação do produto a ser fabricado, a fábrica obedece a uma ordem do plano produtivo do mês. O tempo de *Setup* de troca para cada um dos moldes de piso é muito alto, pois para a troca de cada uma das formas, existe um tempo médio de quatro horas, o que dificulta a variabilidade da produção.

Uma vez escolhida à dimensão do piso a ser fabricada, o composto para a produção de piso é encaminhado para as prensas que realizam a primeira modelagem dos pisos. Atualmente na fábrica existem seis prensas em funcionamento, que podem estar trabalhando simultaneamente.

6.2.1.3.3 PRIMEIRO FORNO

Após os pisos serem prensados, são encaminhados para o primeiro forno, que fará a primeira secagem do material. Esta secagem é da ordem de 30%, para a retirada de umidade do material, para que o mesmo possa ser encaminhado para a esmaltação. O material que sai do primeiro forno tem uma temperatura média de 200^o C, portanto, quando passa pelo processo de esmalte, a pintura adere ao piso pré-moldado.

6.2.1.3.4 ESMALTAÇÃO

Os rolos de impressão são elaborados pelos desenhistas terceirizados, e fabrica-se os rolos com as padronagem dos pisos que são requisitados pelas lojas. A fábrica realiza a fabricação de acordo com as encomendas de cada uma das lojas solicitantes. Os fornecimentos dos rolos de impressão minimiza o custo com a produção e confecção das peças cerâmicas na fábrica, além de garantir a confecção correta do produto final desejado.

Após a confecção do esmalte na peça, o piso é encaminhado para o segundo e último forno, onde será aquecido até alcançar a sua resistência final. O forno de queima pode alcançar uma temperatura de até 900^o C. A fábrica possui dois fornos de queima simultânea para garantir a produção mensal de 45.000 m² de pisos cerâmicos.

6.2.1.3.5 SEGUNDO FORNO

Ao logo dos fornos de queima podemos observar um estoque de material (em prateleiras) em processo ao longo da fábrica (Figura 6.7).



Figura 6.7 Estoques em processo

6.2.1.3.6 INSPEÇÃO FINAL

Após o material sair do forno de queima, está finalizado, e é encaminhado para uma esteira que passará pela inspeção final. A inspeção final é realizada por um funcionário treinado, que fica observando as peças atravessarem a esteira, e de acordo com um gabarito, verifica a sua adequação e aos padrões de qualidade definidos por norma. Caso a peça não tenha uma qualidade apropriada, a peça é eliminada da fila, e é uma direcionada para descarte ou para a seção a ser retrabalhada. Os defeitos que são observados na inspeção são classificados pelo funcionário. Depois de realizada a inspeção final, o produto é encaminhado para a embalagem, e colocado em caixas para encaminhamento para as lojas.

6.2.1.3.7 EXPEDIÇÃO

Depois de acondicionado em caixas, o produto é colocado em paletes, e depois lacrado com plástico para garantir a sua integridade até chegar no destino.

6.2.1.3.8 ESTOQUES DE PRODUTOS ACABADOS

Os estoques de produtos acabados em estoques na parte externa da fábrica (Figura 6.8) e alocados no armazém (Figura 6.9) da fábrica.



Figura 6.8 Estoques de produtos acabados externo



Figura 6.9 Estoques de produtos acabados interno

6.2.1.3.9 EMBARQUE DE PRODUTOS

A entrega é feita de acordo com o pedido do cliente, que no caso são “homes centers” no Brasil e exterior (Figura 6.10).



Figura 6.10 Embarque dos pisos para o Home center (loja)

6.2.1.3.10 RESUMO PARA A SIMULAÇÃO

Os dados foram obtidos a partir do MFV do estado atual, realizado na fábrica de piso cerâmico. Segue o resumo dos dados coletados:

- Tempo de reposição = 40 dias (aproximadamente);
- Intervalo do pedido = 15 dias;
- Produção de Alabama/ mês = 17.000 m²;
- Demanda média diária = 750 m² / dia.

6.2.1.4 CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DO HOME CENTER

6.2.1.4.1 RESUMO PARA A SIMULAÇÃO

Os dados foram obtidos a partir do MFV do estado atual e entrevistas realizadas no centro de distribuição. Segue o resumo dos dados coletados:

- Tempo de reposição = 20 dias;
- Intervalo do pedido = 10 dias;
- Estoque em CD = 0 (atual);
- Nível de serviço estimado = 80%;
- Lote = 5.000 m²;
- Demanda média diária = 750 m² / dia.

6.2.1.5 LOJA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

A loja de materiais de construção visitada fica localizada em Campinas – SP (Figura 6.11).



Figura 6.11 Loja de materiais em Campinas – SP.

6.2.1.5.1 Resumo para a simulação

- Tempo de reposição = 3 dias;
- Intervalo do pedido = 7 dias;
- Estoque em Loja = 5000 m²;
- Demanda mensal = 750 m² / mês;
- Nível de serviço estimado menor que 60%;
- Lote = pedido do cliente.

6.2.1.6 CLIENTE FINAL

O cliente final faz o pedido na loja através do vendedor da loja, o vendedor entra com o pedido no sistema. Ao entrar com o pedido, o vendedor verifica a disponibilidade do produto requisitado no estoque da loja, no caso deste não ter o produto em estoque, o vendedor consegue verificar o estoque do centro de distribuição, e estimar um prazo de entrega aproximado para o cliente. O cliente verifica se o prazo informado atende as suas necessidades, e em caso positivo, solicita que o vendedor feche a compra, e a venda está concluída.

Para realizar o atendimento dos clientes na loja, o departamento de compras programa suas aquisições, baseado no histórico dos últimos 3 meses de venda do produto. As previsões de compras são revistas a cada dez dias pelo departamento de compras do centro de distribuição e loja. O histórico de demanda do cliente final foi coletado a partir do histórico de vendas (dias x m² consumidos por cliente).

6.2.1.7 RESUMO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS TOTAL

Segue na figura 6.12, o resumo adotado dos dados coletados que serão aplicados na modelagem dos cenários para a simulação.

- NS = 60 %;
- Demanda média diária = 750 m/dia;
- Giro de estoque para a cadeia de suprimentos inteira = 10;
- *Lead time* total da cadeia de suprimentos = 30 dias.

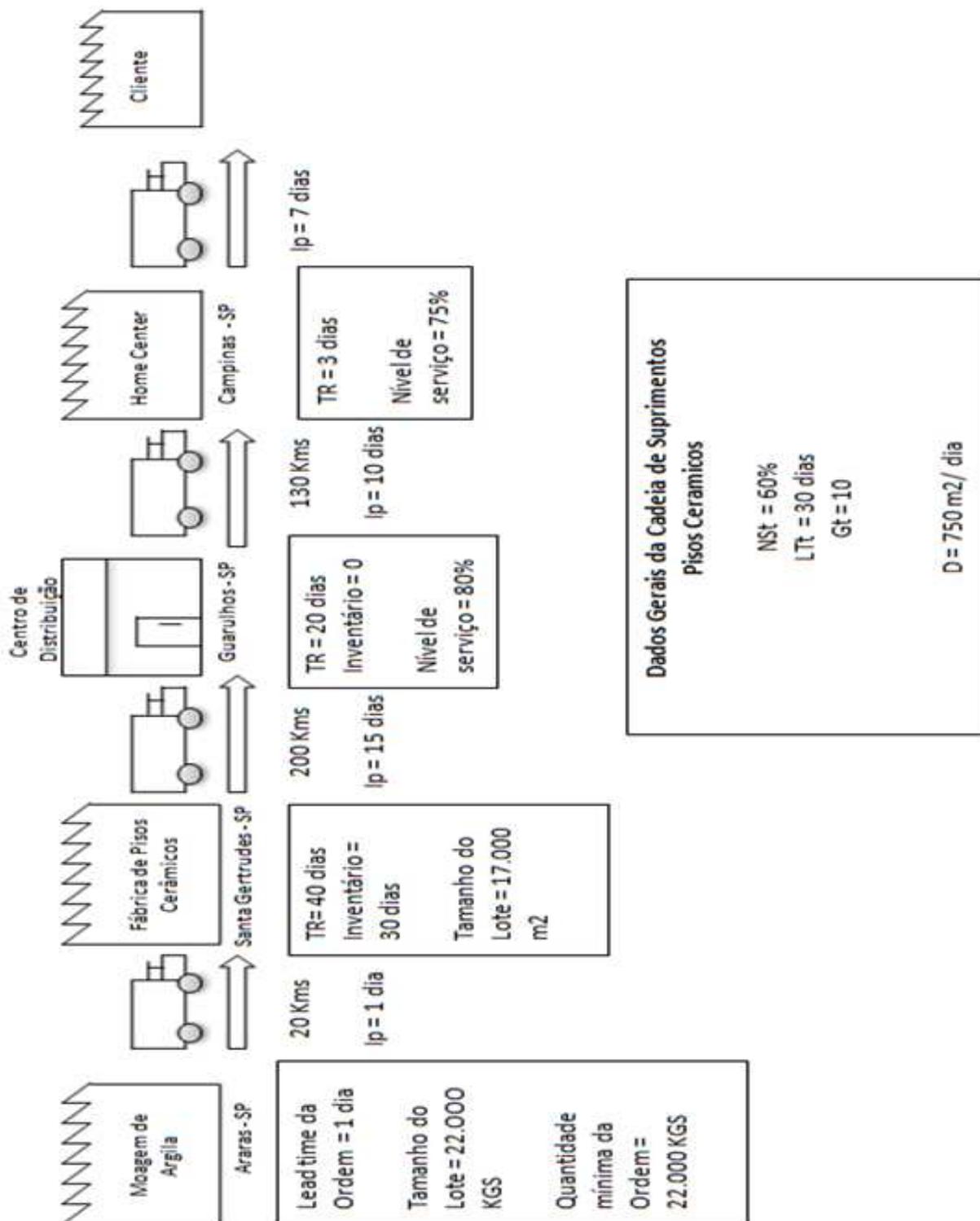


Figura 6.12 Cadeia de suprimentos de Piso Cerâmico da fábrica de pisos cerâmicos

6.3 PROGRAMAÇÃO DO MODELO

Definição dos agentes participantes (Figura 6.13):



Figura 6.13 Agentes da cadeia de pisos cerâmicos considerados

6.3.1 DEFINIÇÃO DO *Software* A SER UTILIZADO PARA A MODELAGEM

A modelagem foi realizada com a utilização do *Software STELLA* do fabricante *ISEE*. A *ISEE* é uma empresa distribuidora de *software* especializada em modelagem de problemas matemáticos a partir de sistemas dinâmicos (*Dinamics Systems*).

O *software STELLA* sugere uma metodologia para a criação do modelo matemático: primeiramente, é necessário definir a questão que será experimentada. Para iniciar o processo de construção do modelo, é imprescindível desenvolver a hipótese, testar a hipótese através do modelo matemático, desenhar as conclusões e por fim analisar e avaliar a robustez das conclusões obtidas através do método de simulação. Paralelamente, é desenvolvido também o processo de aprendizagem (Figura 6.14), onde se identifica o público alvo, definem-se os objetivos da aprendizagem e depois se implementa a estratégia para a sua realização.

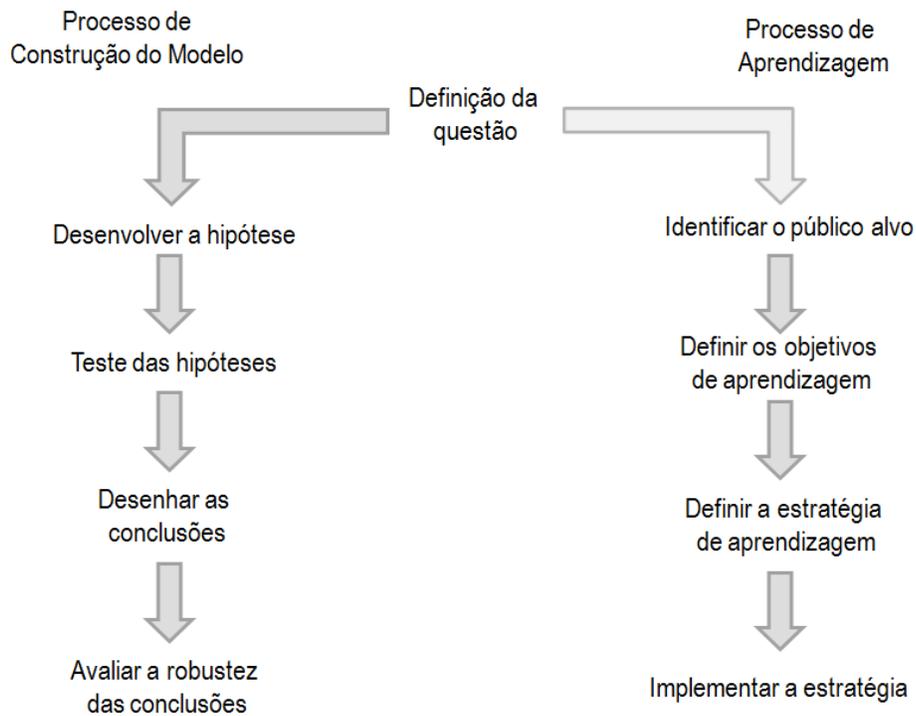


Figura 6.14 Processo de Construção do Modelo e Processo de Aprendizagem sugerido pelo STELLA Software

O objetivo da utilização do *software STELLA*, foi criar os cenários do estado atual da cadeia de suprimentos analisada no macro mapa de fluxo de valor do estado atual (MMEA) a partir dos dados coletados.

A metodologia de simulação foi adotada devido à dificuldade encontrada na implementação das ações sugeridas pela filosofia *Lean thinking* em todos os agentes da cadeia de suprimentos. No ambiente de simulação é possível analisar os impactos com baixo custo e possibilidades de múltiplas variações: da redução de lotes, da diminuição de *Lead times* da produção, da redução do fluxo de informação do pedido, e da redução de estoques (matéria-prima, segurança e máximo).

6.3.2 DEFINIÇÃO DO FLUXO DE INFORMAÇÕES

6.3.2.1 DEMANDA ADOTADA

Para a obtenção do perfil de demanda foram realizadas entrevistas com o departamento comercial, e de planejamento do centro de distribuição. Nas entrevistas buscou-se compreender o perfil de compra dos clientes ao longo da semana (7 dias), um mês (30 dias) e semestre,(6 meses).

Foi adotado um perfil de demanda baseado nos relatos das entrevistas com os colaboradores. Observou-se que os dias de maiores movimentos são os dias próximos do final de semana, sendo que o pico das vendas acontece entre sábado e domingo (figura 6.15).

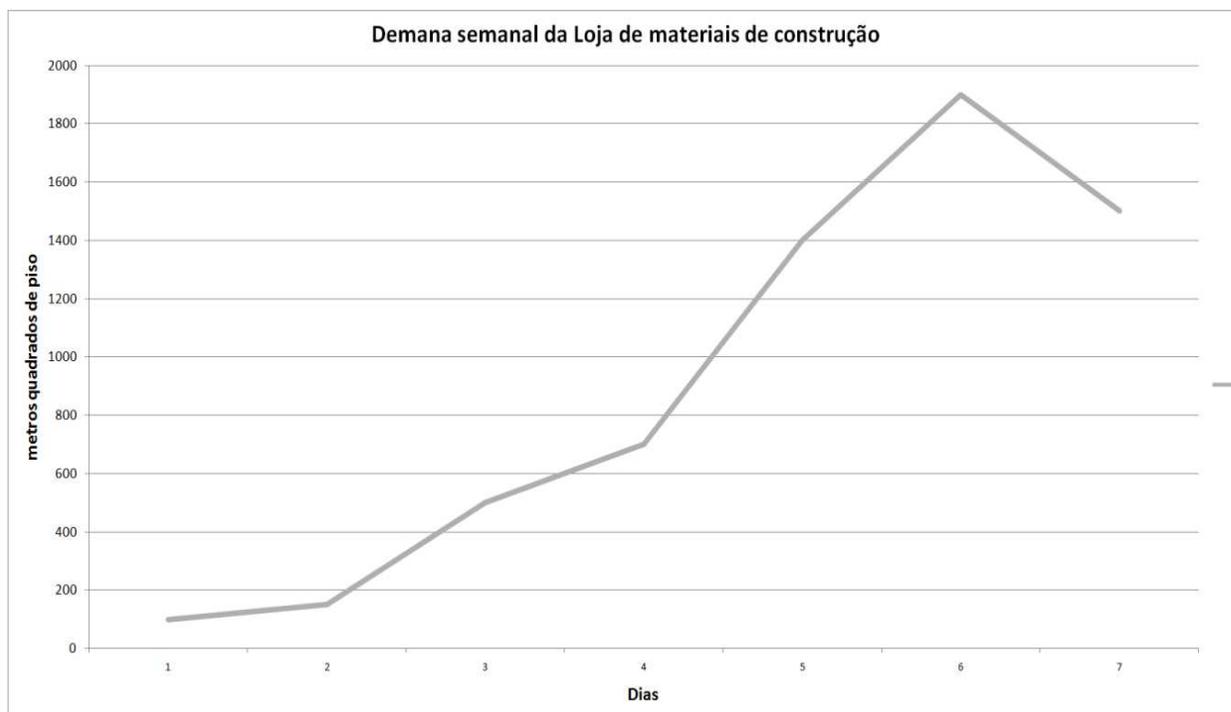


Figura 6.15 Demanda semanal adotada

Estendendo a análise para o período de um mês, observa-se que a primeira semana tem um movimento maior, e a última semana tem um movimento mais fraco, se comparar as quatro semanas do mês (figura 6.16).

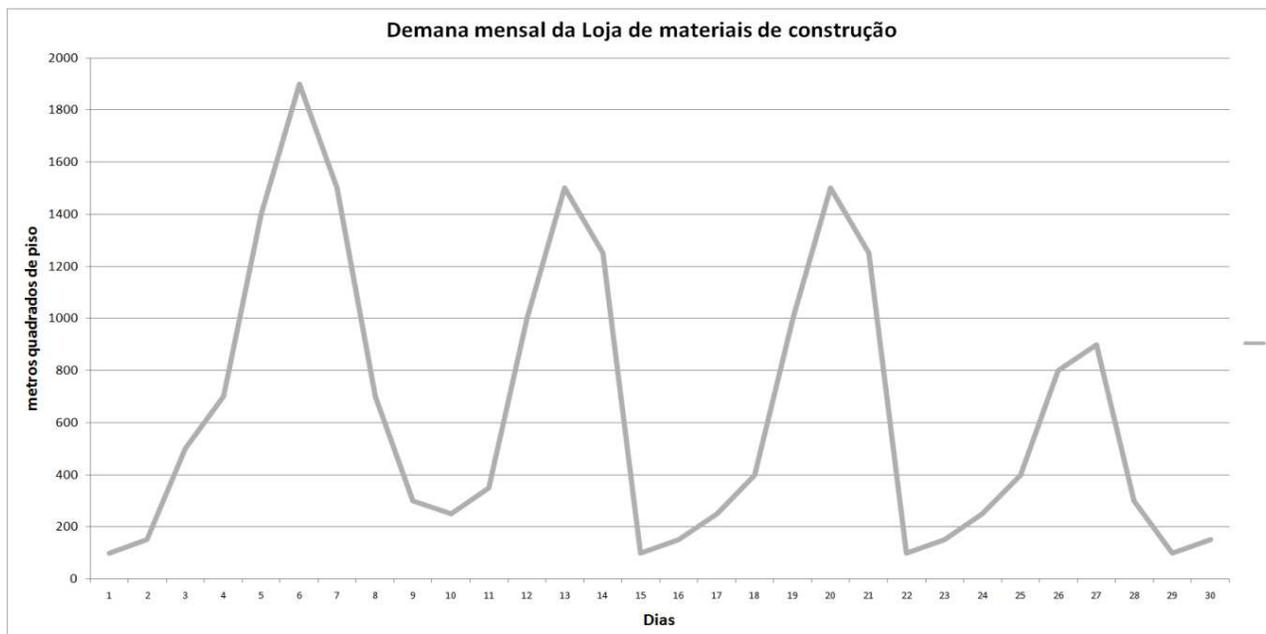


Figura 6.16 Demanda mensal adotada

Para a análise do período de seis meses estendeu-se a curva mensal para o período proposto para a análise (figura 6.17).

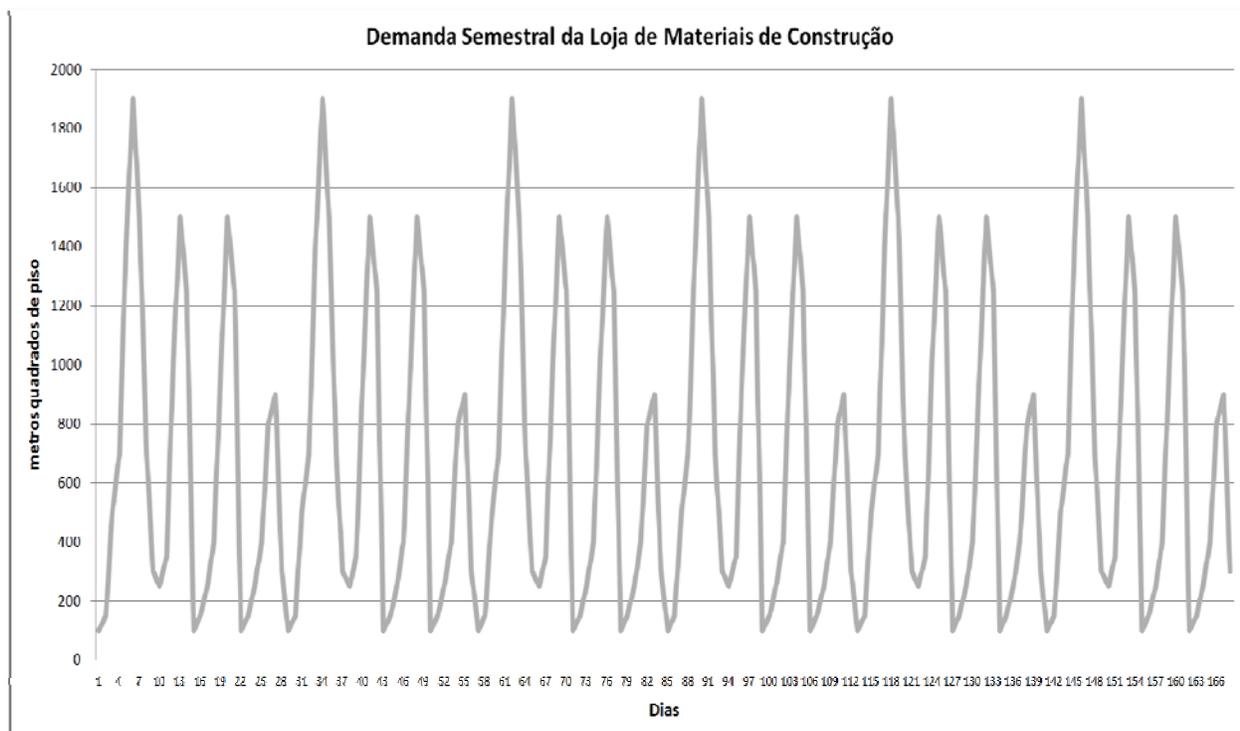


Figura 6.17 Demanda semestral da loja

Todas estas informações foram transcritas para o gráfico de demanda no *software STELLA*, de forma que foi possível, identificar a curva de demanda anual (figura 6.18).

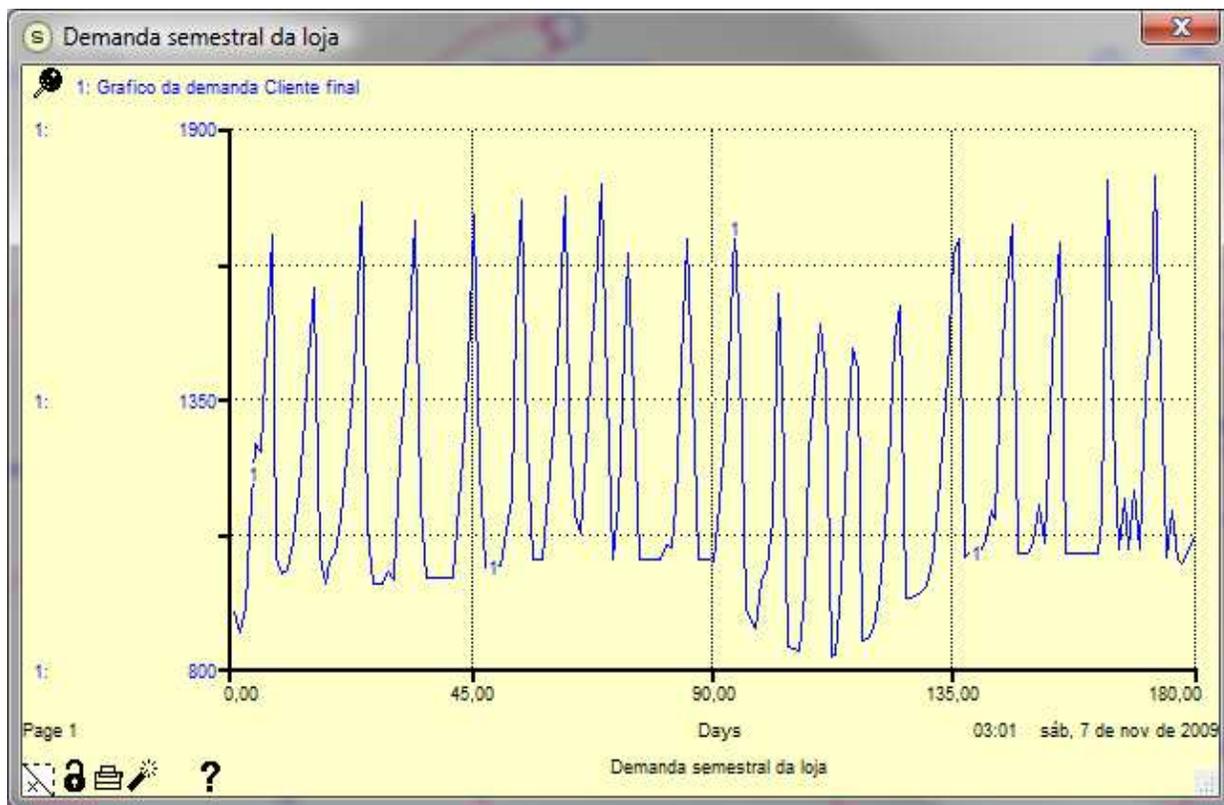


Figura 6.18 Demanda semestral adotada no Stella

A demanda a ser atendida no modelo é representada pelo volume de pedidos vendidos para os clientes na loja. Para o modelo adotou-se uma variabilidade histórica, uma vez que os agentes não conheciam a demanda real futura.

6.3.3 DEFINIÇÃO DOS INDICADORES

Foi realizada a modelagem com os seguintes indicadores selecionados, a partir da revisão bibliográfica (Quadro 6.1):

Quadro 6.1 Indicadores adotados no modelo

INDICADORES	FÓRMULAS
ESTOQUES	VOLUME DE ESTOQUES EM M ²
GIRO DE ESTOQUE	360 / ESTOQUE EM DIAS
LEAD TIME	ESTOQUE / DEMANDA MÉDIA DIÁRIA
NÍVEL DE SERVIÇO	PEDIDOS PERFEITOS ENTREGUES / PEDIDO TOTAIS

Na modelagem, primeiramente, criou-se uma tabela no programa Excel, e objetivou-se modelar um sistema que apresentasse o resumo dos comportamentos observados nos três estudos de caso.

Para o estudo da simulação inicial e conferência dos dados adotados, iniciou-se a simulação para pequenos períodos de tempo (quatro semanas), com o intuito de enxergar a entrega e saída de estoques, tamanhos dos lotes, atrasos e os impactos nos indicadores escolhidos, para garantir a validação dos resultados.

A modelagem iniciou-se pelo final da cadeia (de cliente final para a sua demanda) baseado na metodologia recomendada pela filosofia *Lean thinking*, onde se acompanhou o material do cliente até o fornecedor identificado mais à jusante. Para a representação dos clientes, foram coletados os dados das vendas realizadas nos últimos meses na loja, de acordo o departamento comercial.

Inicialmente, a modelagem preliminar iniciou com 30 dias, depois foi expandida, até chegar à simulação de seis meses (180 dias), já explicitados nos gráficos anteriores. Para o acompanhamento das cadeias de suprimentos, acredita-se que espaços de tempo menores possibilitam uma visão mais precisa dos impactos das políticas adotadas. No estudo de caso principal sugeriu-se um período de seis meses para a análise dos cenários.

Foi necessário retornar várias vezes às sede dos agentes para a coleta de mais dados históricos para retroalimentar o modelo com registros mais precisos. Foram realizadas ao todo, cinco visitas aos agentes da cadeia de suprimentos para a coleta de dados na primeira fase.

Algumas considerações foram adotadas para que tentasse se reproduzir o ambiente da cadeia de suprimentos real. Segue as considerações adotadas:

- Considerou-se o fluxo de informação, como o fluxo do pedido do agente cliente até a entrega efetiva do produto final para o requisitante;
- Os estoques foram definidos de acordo com as quantidades observadas no MMEF;
- I_p (intervalo do pedido) representa a freqüência de entrega e T_r (tempo de reposição) representa o tempo de processamento do pedido e do transito do caminhão.
- O tempo de intervalo de pedido (I_p) adotado e o tempo de reposição (T_r) foram definidos como as variáveis de teste (Figura 6.19).

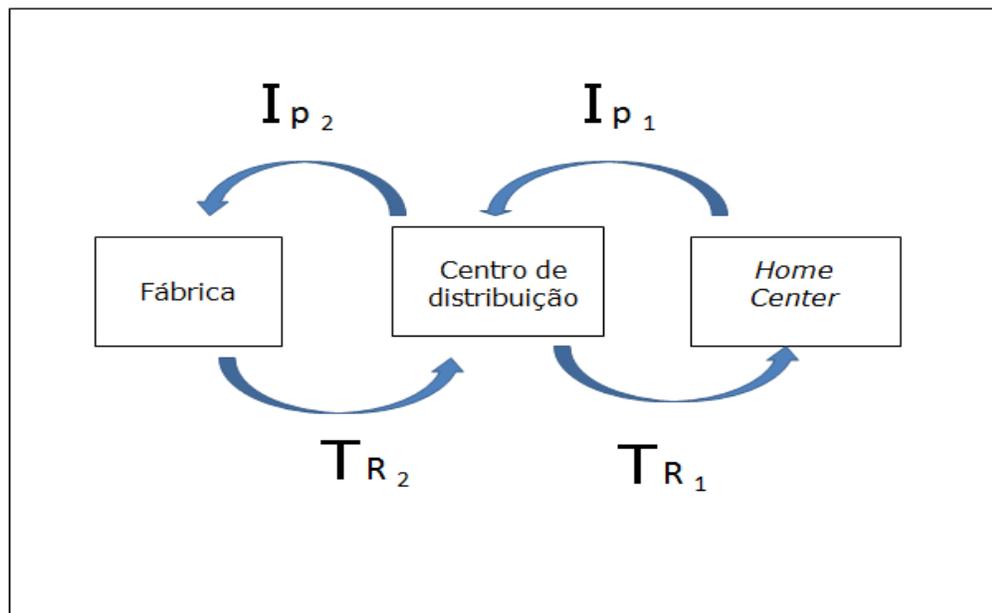


Figura 6.19 Desenho esquemático do Intervalo de pedido (I_p) e tempo de reposição (T_r) entre agentes

- O histórico de demanda adotado foi baseado na demanda coletada de seis meses de vendas de pisos cerâmicos Alabama 50 x 50cm fornecida pela loja e pelo centro de distribuição.
- O pedido atendido foi considerado o produto entregue para o cliente, na quantidade, prazo e qualidade corretos (Figura 6.20).

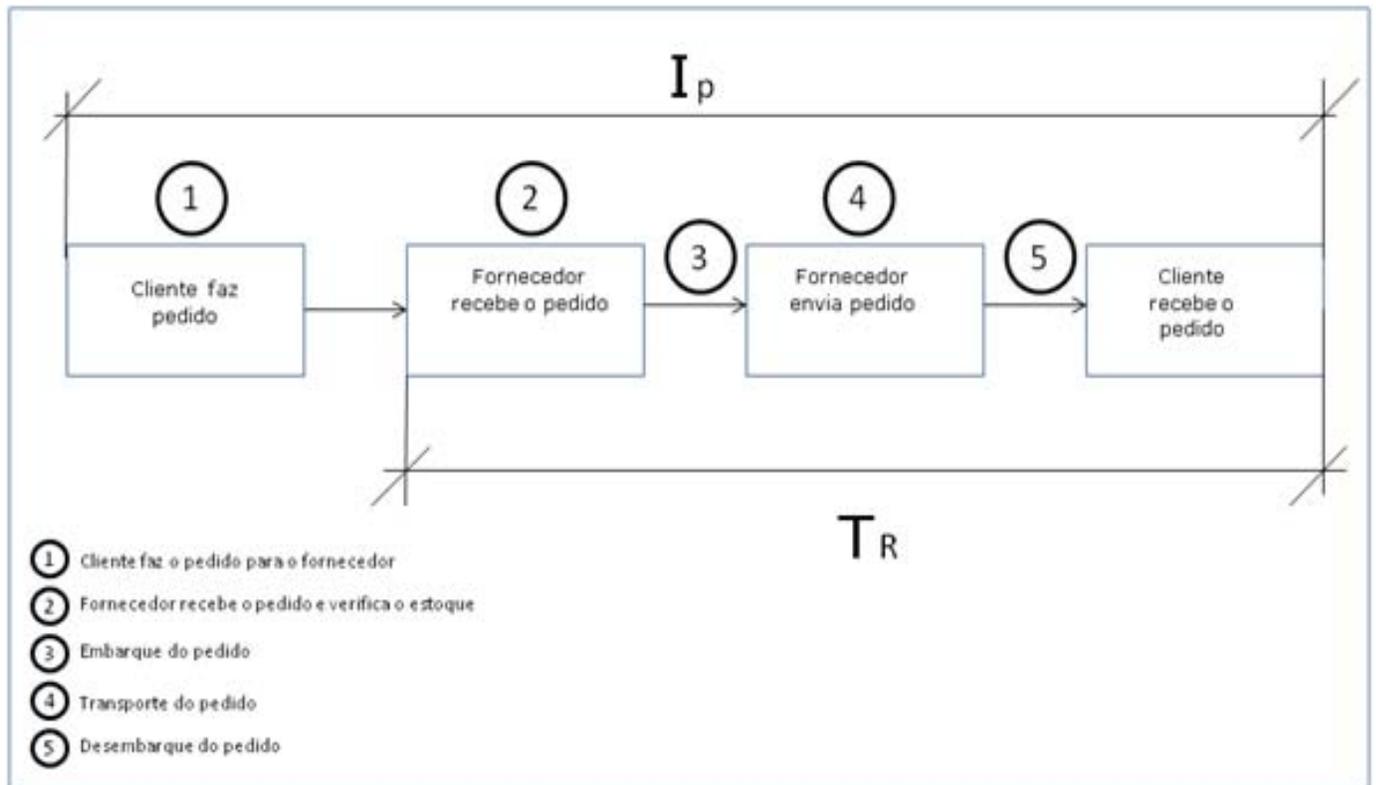


Figura 6.20 Esquema da composição do Intervalo de pedido (I_p) e Tempo de reposição (T_R)

- O nível de serviço medido é baseado na definição de pedido perfeito, definido na revisão bibliográfica. O pedido perfeito, segundo os autores Womack e Jones (2004), é o pedido que é atendido na quantidade correta, no momento correto e na qualidade especificada.
- O tamanho do lote foi definido em função da frequência de entrega (Quadro 6.2), o que equivale ao tamanho do estoque de ciclo definido por

Smalley (2004), conforme citado na revisão bibliográfica. Sendo que, D = a demanda média diária.

Quadro 6.2 Tabela da relação da freqüência e intervalo de pedido e tamanho do lote utilizado na modelagem

	Frequência	lp	Tamanho do lote
	(P/ mês)	(dias)	
Mensal	1	30	30 x D
Quinzenal	2	15	15 X D
Semanal	4	7	7 X D
2 vezes por semana	8	3,5	3,5 X D
diário	30	1	1 X D

A partir dos dados e comportamentos analisados e observados nos três estudos de caso, foram propostos quatro modelos conceituais para a simulação de uma implementação *Lean* nos últimos três agentes.

Nos modelos, com a aplicação de *kanban*, foi adotada a seguinte fórmula para ponto de pedido (figura 6.21) e modelado (figura 6.22) para a definição do estoque mínimo, para o suprimento do supermercado da maneira descrita a seguir (figura 6.21). A fórmula descrita na revisão bibliográfica, proposta por Smalley (2004) foi adaptada, uma vez que ele considera um caso de *kanban* de produção e no modelo estamos simulando um *kanban* de movimentação entre clientes e fornecedores.

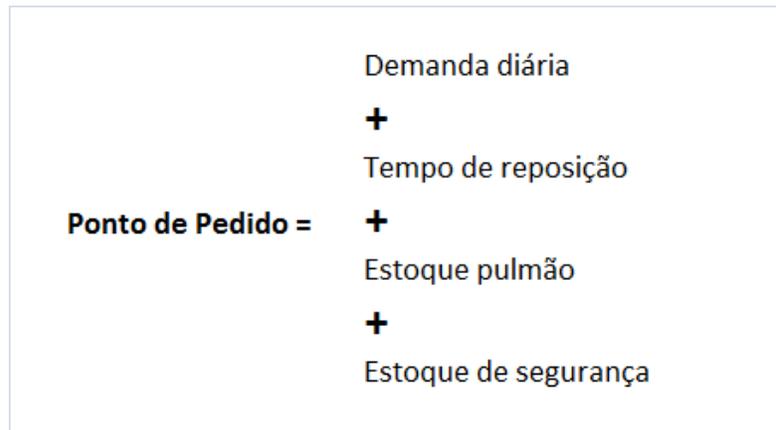


Figura 6.21 Cálculo do Ponto de pedido para os modelos com a aplicação da ferramenta Kanban

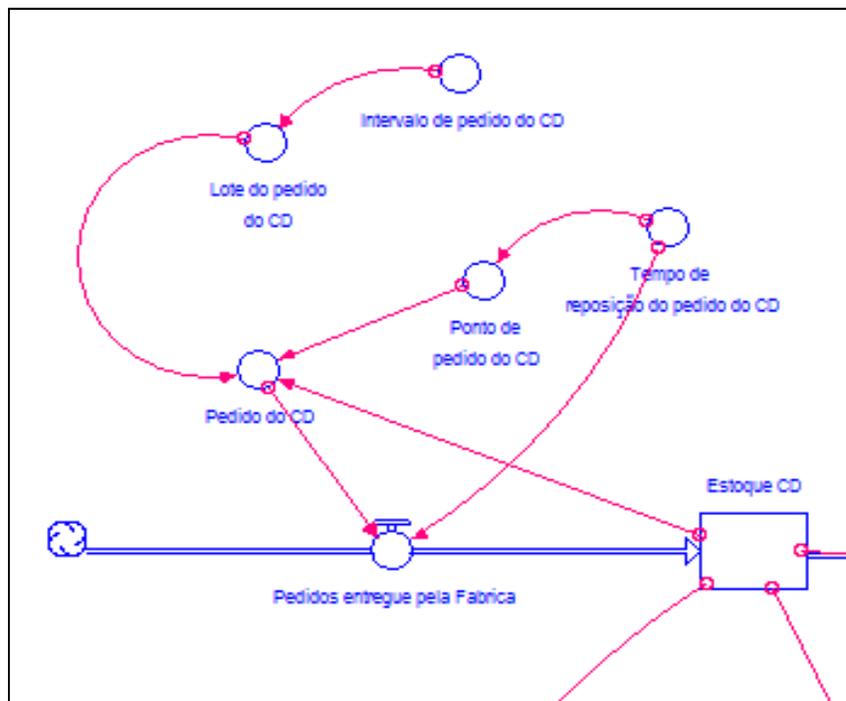


Figura 6.22 Representação do cálculo do pedido no modelo proposto no software Stella

Para o cálculo do modelo experimentado calculou-se o desvio padrão (figura 6.23), obteve-se o valor de 533,95.

Estoque Pulmão = 2 x desvio padrão

Figura 6.23 Desvio padrão adotado para a modelagem do ponto de pedido

Para se definir o estoque pulmão foram consideradas duas vezes o valor do desvio padrão, totalizando 1067,90 m² de piso.

Para o cálculo do estoque de segurança, ao considerar as variações e problemas de transporte, adotou-se um dia de demanda média diária (D) suprir a falta de confiabilidade do transporte do material entre agentes, portanto adotou-se 750,00 m².

Estoque de segurança = um dia de demanda média diária

Figura 6.24 Estoque de segurança adotado

6.4 APLICABILIDADE DO MODELO DO ESTADO ATUAL

A validação de modelos que utilizam o conceito de systems dynamics, ainda é muito discutida no meio acadêmico, uma vez que a validação de comportamentos não pode ser comprovada em sua totalidade. Por tanto, optou-se por avaliar a aplicabilidade do modelo na etapa de validação. O primeiro

modelo (modelo base) foi concebido a partir da coleta de dados e resultados. Posteriormente, os cenários modelados foram apresentados para os responsáveis das áreas que participaram das entrevistas semi-estruturadas para a verificação da coerência e consistência dos dados.

Ao observar a figura 6.12, na seção 6.1.2.7, resumiu-se os dados no seguinte desenho esquemático apresentado na figura 6.25, para a aplicação no modelo.

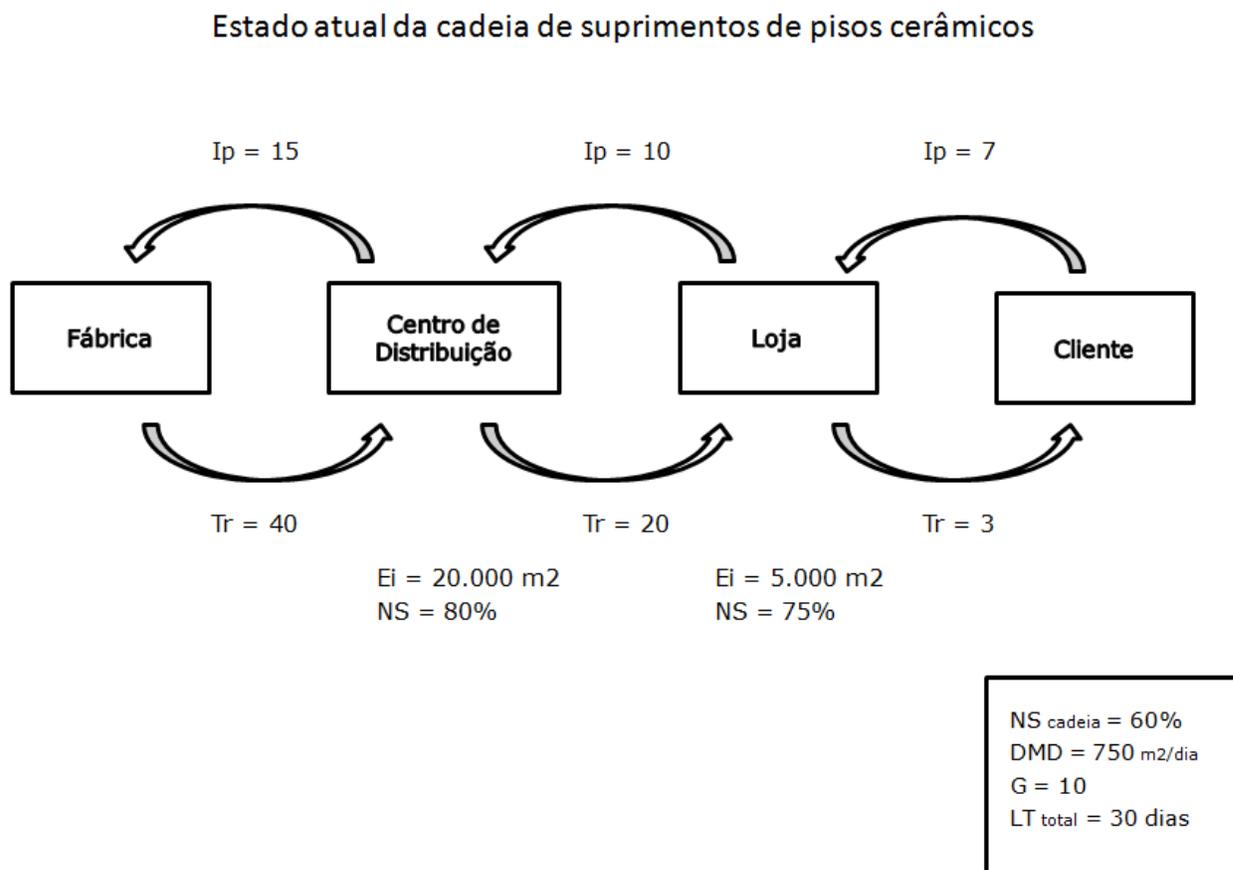


Figura 6.25 Desenho esquemático dos dados adotados na simulação dos modelos do STELLA

A simulação do primeiro modelo, (empurrado-empurrado) referente ao estado atual da cadeia, coletado a partir dos dados de entrevistas e análise de documentos disponibilizados pelos agentes, obteve-se os seguintes resultados a partir da primeira simulação (figuras 6.26, 6.27, 6.29, 6.30).

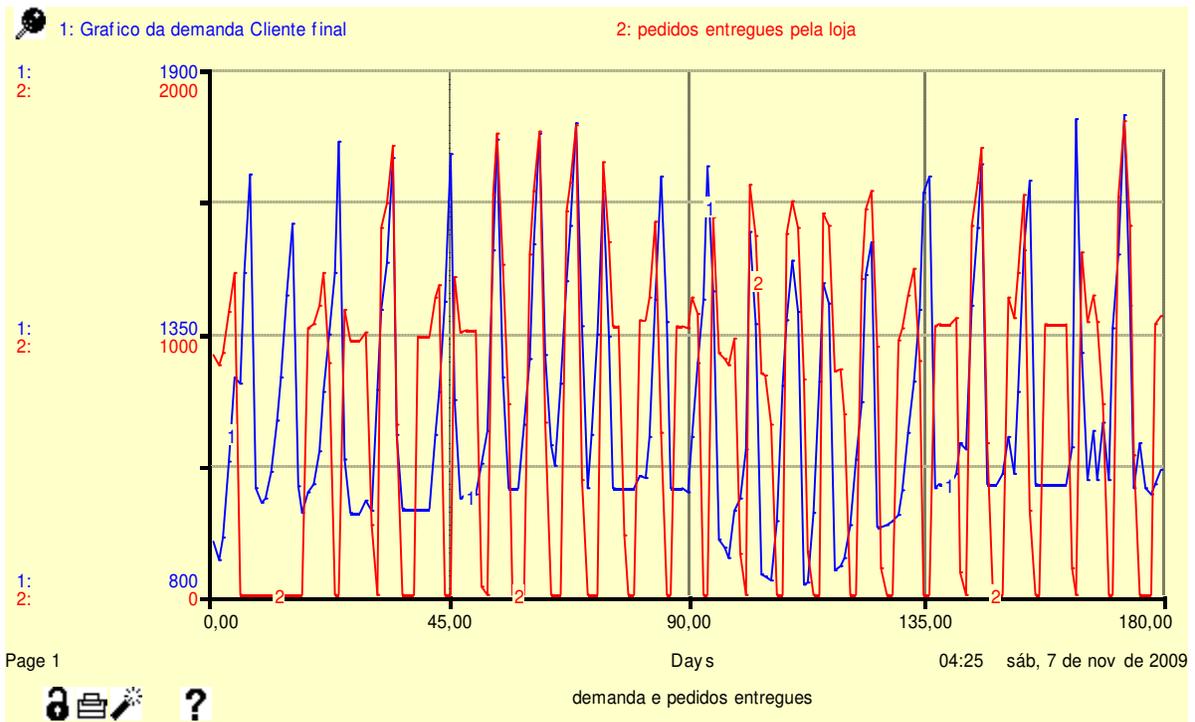


Figura 6.26 Demanda do cliente x pedidos da loja

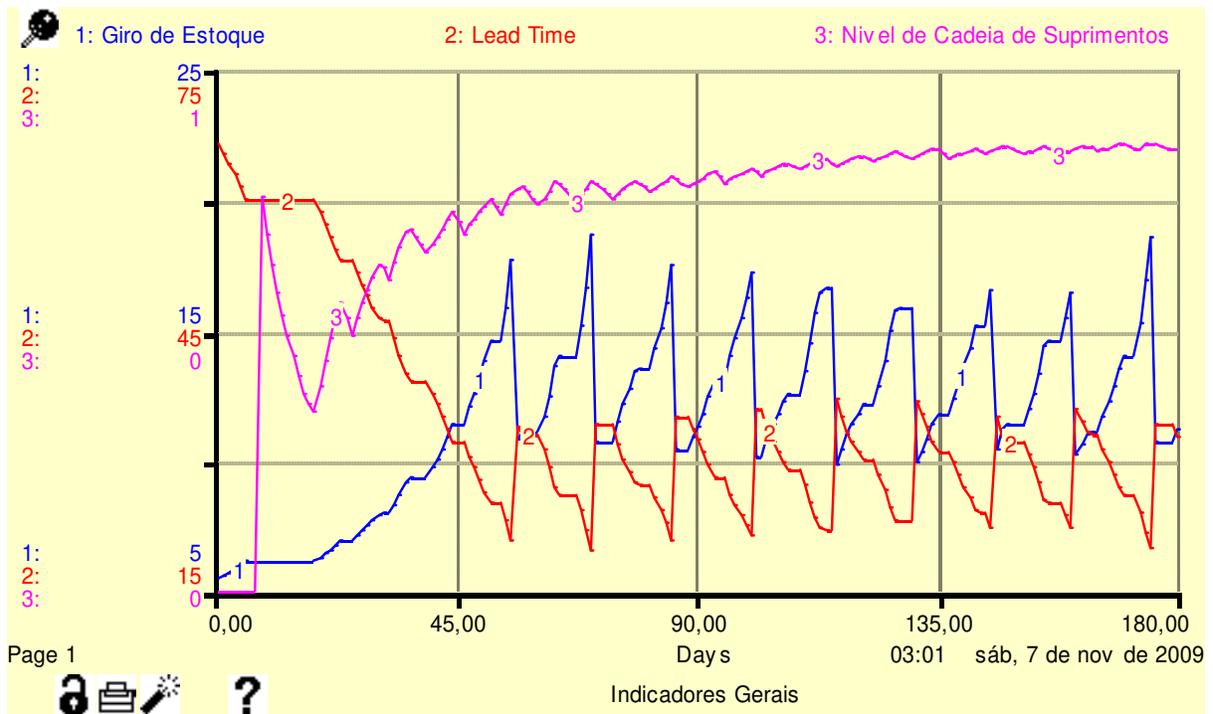


Figura 6.27 indicadores obtidos para o estado atual da cadeia de suprimentos de piso cerâmico

Observa-se nas figuras 6.26 e 6.27, que existe um “warm up” nos primeiros dias representados, para os cálculos de estoque, foram adotados os estoques médios dos últimos 3 meses.

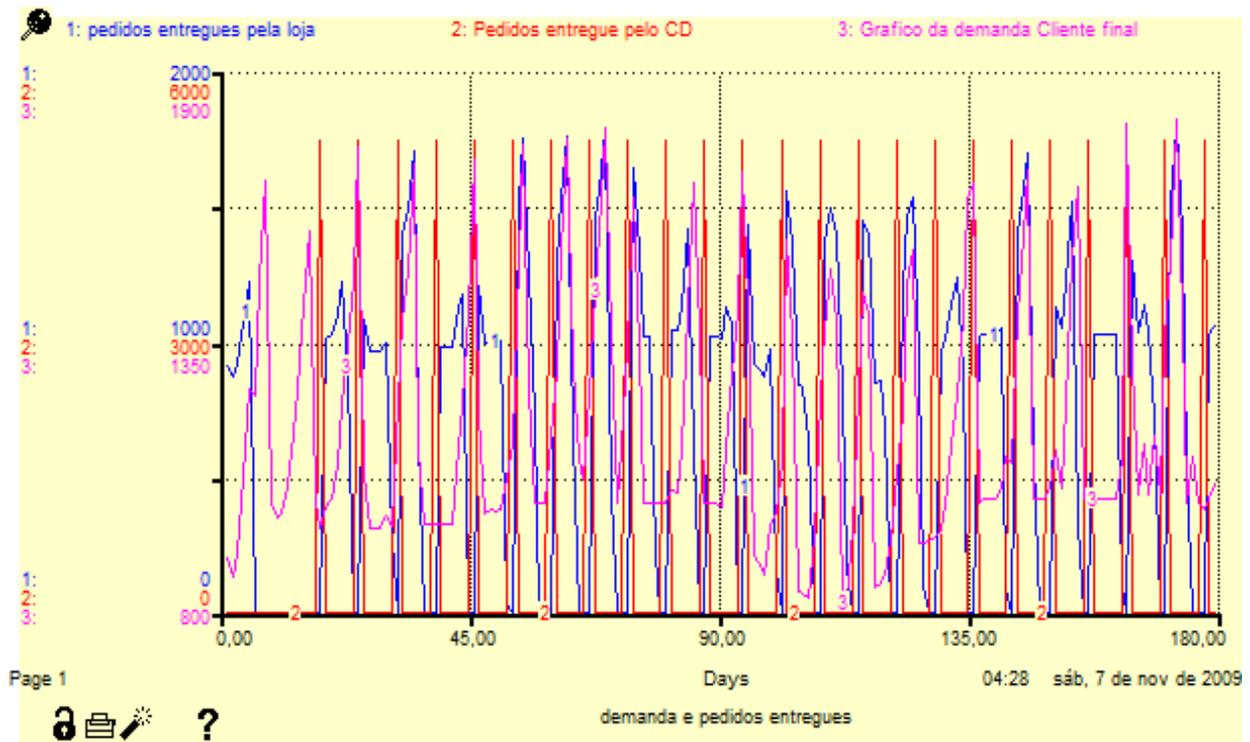


Figura 6.28 Pedidos entregues pelo loja x pedidos entregues pelo CD x demanda do cliente

Resumo dos dados

03:58 07/11/2009 Table 1 (Resumo dos dados)

Days	pedidos entregues	Pedidos entregue	Estoque CD	Estoque Loja	Nível de Cadeia de	Lead Time	Giro de Estoque
159	1.030,00	0,00	13.500,00	4.220,00	0,59	23,63	15,45
160	1.030,00	0,00	13.500,00	3.190,00	0,59	22,25	16,40
161	1.030,00	0,00	24.750,00	2.160,00	0,59	35,88	10,17
162	1.030,00	0,00	24.750,00	1.130,00	0,60	34,51	10,56
163	100,00	0,00	24.750,00	100,00	0,60	33,13	11,02
164	0,00	5.250,00	24.750,00	0,00	0,60	33,00	11,06
165	1.305,00	0,00	19.500,00	5.250,00	0,59	33,00	11,06
166	1.039,33	0,00	19.500,00	3.945,00	0,59	31,26	11,66
167	1.141,33	0,00	19.500,00	2.905,67	0,60	29,87	12,22
168	1.039,33	0,00	19.500,00	1.764,33	0,60	28,35	12,87
169	725,00	0,00	19.500,00	725,00	0,60	26,97	13,54
170	0,00	0,00	19.500,00	0,00	0,60	26,00	14,04
171	0,00	5.250,00	19.500,00	0,00	0,60	26,00	14,04
172	1.514,22	0,00	14.250,00	5.250,00	0,59	26,00	14,04
173	1.804,44	0,00	14.250,00	3.735,78	0,60	23,98	15,22
174	1.406,67	0,00	14.250,00	1.931,33	0,60	21,58	16,92
175	524,67	0,00	14.250,00	524,67	0,60	19,70	18,53
176	0,00	0,00	25.500,00	0,00	0,60	34,00	10,74
177	0,00	0,00	25.500,00	0,00	0,60	34,00	10,74
178	0,00	5.250,00	25.500,00	0,00	0,60	34,00	10,74
179	1.030,17	0,00	20.250,00	5.250,00	0,59	34,00	10,74
Final			20.250,00	4.219,83	0,59	32,63	11,15

Figura 6.29 Exemplo de planilhas obtidas do Stella

Os dados para a realização da simulação foram obtidos a partir do MMFE da cadeia de suprimentos de piso cerâmico, onde foram observados o lead time e estoques entre agentes. Segue o resumo dos dados obtidos na simulação:

- Nível de serviço = 59%
- Giro de estoque = 11,19
- *Lead time* da cadeia = 32,69 dias

Ao analisar os dados coletados, e os dados obtidos a partir do modelo, observa-se que os dados obtidos através da simulação aproximam-se dos valores dos dados obtidos em campo, apresentando um erro inferior a 5 % nos

indicadores de nível de serviço, giro de estoque e *Lead time* total. A partir deste procedimento, considerou-se a aplicabilidade do primeiro modelo, que expressa o estado atual da cadeia de suprimentos analisada. Este primeiro modelo serviu como base para a concepção dos modelos melhorados (com a aplicação das ferramentas lean) que serão apresentados na seqüência. Cabe ressaltar que, foi observado um estudo de caso, onde o comportamento da cadeia de suprimentos é repetitivo.

6.5 PROJETO DOS MODELOS A SEREM SIMULADOS

Para a realização da simulação foram elaborados quatro modelos para a cadeia de suprimentos de pisos cerâmicos, de forma a propor a utilização da ferramenta *kanban* de três formas (KK-EE, EE-KK e KK-KK). Para a simulação dos cenários futuros, dois parâmetros foram modificados:

- I_p = Intervalo do pedido
- T_r = Tempo de reposição

Em função, da variação imposta pela mudança de variáveis, foram estudados os impactos, que as modificações nos diversos cenários futuros dos quatro modelos concebidos (Quadro 6.3).

Quadro 6.3 Modelos propostos para a simulação da cadeia de suprimentos de pisos cerâmicos

	TIPO	Centro de Distribuição	Loja
MODELO # 1	EE -EE	Empurrado	Empurrado
MODELO #2	EE-KK	Empurrado	Kanban
MODELO #3	KK-EE	Kanban	Empurrado
MODELO #4	KK-KK	Kanban	Kanban

Após definidos os modelos a serem construídos, selecionou-se ferramentas *Lean* que seriam aplicadas aos modelos, para que pudesse simular os resultados de implantações em várias circunstâncias (Quadro 6.4).

Quadro 6.4 Ferramentas Lean e Conceitos para a composição do Estado Futuro

	Conceitos e Ferramentas Lean	Cenário Futuro
Supermercados	São ferramentas utilizadas quando existem obstáculos no processo, como as atividades denominadas de gargalos, onde as unidades de trabalho precisam ser removidas, ou quando existe uma variação no tempo de ciclo de duas atividades, impedindo assim o estabelecimento do fluxo contínuo.	Os supermercados são utilizados para estocar unidades de trabalho que aguardam o processo seguinte, ou o cliente final.
Kanban	É uma ferramenta utilizada em conjunto com o Sistema de Supermercados para puxar a produção, sua principal função é controlar a reposição de unidades e manter o fluxo contínuo.	O <i>Kanban</i> é responsável por puxar o sistema de produção e sinalizar a necessidade de reposição e carregar todas as informações sobre o produto, que possam ser necessárias para a produção.
Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV)	É um diagrama de todas as etapas envolvidas no processo produtivo, tanto no fluxo de material quanto no fluxo de informações, desde o pedido até a entrega.	O MFV, ou VSM, foi adaptado para o ambiente administrativo por Tapping; Shuker (2003), e definido como um processo para planejar e ligar as iniciativas <i>Lean</i> através da captura sistemática de dados, e de sua análise, resultando na redução de custo através da eliminação de desperdícios e a criação de fluxos suaves de informação e trabalho.

Em cada um dos modelos, existe a representação de dois grupos de letras, o primeiro grupo representa o centro de distribuição e o segundo grupo representa a loja. Em cada grupo de letras, existe uma nomenclatura duplicada, cada uma das variáveis representa uma variável que será modelada: Ip (Intervalo de pedido) e Tr (Tempo de reposição).

Segue um exemplo da nomenclatura adotada nos gráficos e tabelas que serão apresentados a seguir (figura 6.30).

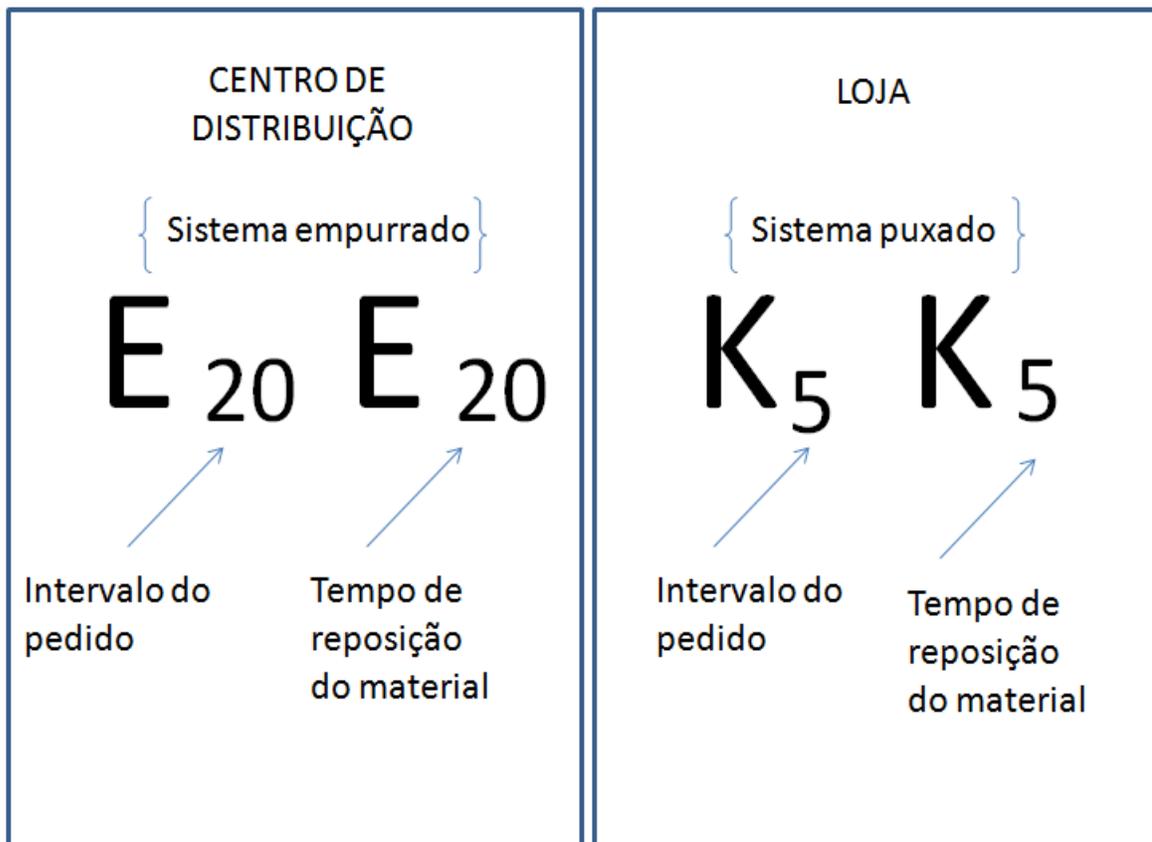


Figura 6.30 Exemplo da nomenclatura adotada para cada um dos modelos testados

6.6 RESULTADOS OBTIDOS DA SIMULAÇÃO

Nesta etapa apresentam-se os resultados obtidos, através da simulação dos quatro modelos propostos.

A partir das entrevistas semi-estruturadas aplicadas em todos os agentes envolvidos na cadeia de suprimentos. Foram criados quatro modelos e realizadas 67 simulações:

- EE-EE (18 simulações);
- EE-KK (17 simulações);
- KK-EE (15 simulações);
- KK-KK (17 simulações) – cenário ideal.

Os modelos foram confeccionados (Apêndice II), a partir dos dados coletados, e das relações identificadas dos agentes, bem como, foi coletado uma demanda histórica do piso Alabama (50x50cm) para representar a procura do cliente pelo produto na loja.

Cada um dos modelos foi desenvolvido no *Software* STELLA e as relações foram modeladas através de equações, que expressa as características de cada relacionamento entre agentes. Algumas considerações foram adotadas:

- Demanda média diária;
- O tempo foi contado em unidade de dias;
- O estoque foi atualizado, sempre ao final do dia;
- A frequência de entrega determinou o tamanho do lote.
- Não foi considerado alguns fatores de incerteza no modelo, tais como, confiabilidade de transporte, variabilidade de demanda, etc. Os modelos seguiram um padrão repetitivo.

6.6.1 SISTEMA EMPURRADO – EMPURRADO – MODELO # 1

Para o modelo EE-EE, foi considerado que o pedido era realizado pelo departamento de compras, baseado em uma data pré-determinada para o ressurgimento dos estoques. Foram consideradas compras programadas.

O lote do pedido foi calculado a partir da frequência determinada multiplicado pela demanda média diária.

O tempo de reposição foi considerado o período que efetivamente o pedido leva para chegar a ocupar a prateleira do estoque do solicitante. O tempo de pedido e o tempo de reposição, normalmente, não são o mesmo, devido a atrasos e problemas de planejamento, portanto, são unidades de tempo que devem ser consideradas separadamente.

O pedido do solicitante então era agendado, de acordo com o intervalo de tempo informado, e entregue com o tempo de atraso definido no tempo de reposição. Esta mesma regra foi adotada para o centro de distribuição e para a loja de materiais. Uma vez, que as mesmas, no cenário atual, não consultam os estoques de seus fornecedores para fazerem os pedidos, apenas informam sua necessidade, a partir de uma previsão da demanda do cliente, baseada nos três últimos históricos. Neste caso, o fornecedor pode ou não atender no momento da solicitação.

Os indicadores foram modelados e calculados, com base nas definições das referências bibliográficas, obtidas no capítulo 2 e da seleção obtida a partir do estudo de caso preliminar apresentado no capítulo 4.

O nível de serviço foi calculado, a partir da contagem dos pedidos entregues no prazo e condições perfeitas, dividido pelo total de pedidos demandado no período.

O *Lead time* total da cadeia de suprimentos foi calculado em função de todos os estoques encontrados na cadeia dividida pela demanda média diária.

E por fim, o giro de estoque foi calculado, dividindo 365 dias os estoques calculados em dias, desta forma, têm-se o número de vezes que o estoque é repostado durante o ano.

O modelo #1 foi modelado para uma cadeia de suprimentos de piso cerâmico, completamente empurrada. Foram adotadas todas as considerações apontadas na seção 6.3.2 anteriormente.

Iniciou-se a simulação a partir dos dados da figura 6.12 na seção 6.2.1.7, obtido no estudo de caso da cadeia de pisos cerâmicos, com o intuito de verificar se:

- No sistema Empurrado-Empurrado, os estoques são altos para que se possam manter os suprimentos do cliente final.
- No sistema Empurrado-Empurrado, Lead time é alto e o giro de estoque é baixo decorrente do alto estoque.
- O nível de serviço médio apresenta valores próximos com os obtidos durante a entrevista do estudo de caso.
- Existe variação no nível de serviço, quando se reduz o Tr (Tempo de reposição).
- Existe variação no nível de serviço, quando se reduz o Ip (Intervalo de pedidos).

O primeiro conjunto de cenários foi definido a partir, exclusivamente, com os dados iniciais (figura 6.31 e Quadro 6.5):

- $I_p = 15$ dias $T_r = 40$ dias (Centro de Distribuição)
- $I_p = 10$ dias $T_r = 20$ dias (Loja)

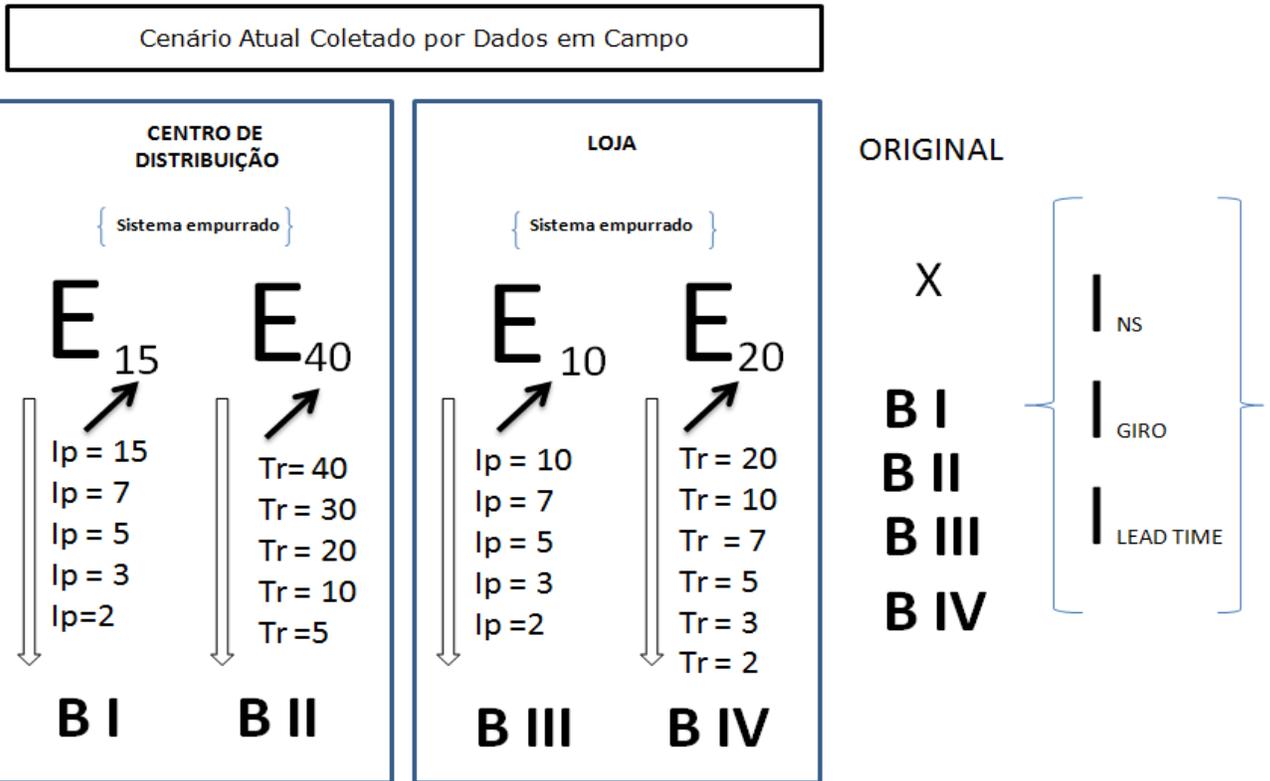


Figura 6.31 Esquema dos cenários elaborados para o modelo # 1 Empurrado-Empurrado

O conjunto de simulações de cenários seguiu a seguinte estratégia:

- B I : Reduziu-se o Intervalo de pedido do centro de distribuição
- B II: Reduziu-se o Tempo de reposição do material do centro de distribuição
- B III: Reduziu-se o Intervalo de pedido da loja
- B IV: Reduziu-se o Tempo de reposição do material da loja

Quadro 6.5 Modelo # 1 - CENÁRIOS

Nome do Arquivo	Cenário		Agentes			
			Centro de Distribuição		Loja	
			EE		EE	
			<i>Ip</i>	<i>Tr</i>	<i>Ip</i>	<i>Tr</i>
E15E40_E10E20	1	I	15	40	10	20
E7E40_E10E20	2		7	40	10	20
E5E40_E10E20	3		5	40	10	20
E3E40_E10E20	4		3	40	10	20
E2E40_E10E20	5		2	40	10	20
E15E30_E10E20	6	II	15	30	10	20
E15E20_E10E20	7		15	20	10	20
E15E10_E10E20	8		15	10	10	20
E15E5_E10E20	9		15	5	10	20
E15E40_E7E20	10	III	15	40	7	20
E15E40_E5E20	11		15	40	5	20
E15E40_E3E20	12		15	40	3	20
E15E40_E2E20	13		15	40	2	20
E15E40_E10E10	14	IV	15	40	10	10
E15E40_E10E7	15		15	40	10	7
E15E40_E10E5	16		15	40	10	5
E15E40_E10E3	17		15	40	10	3
E15E40_E10E2	18		15	40	10	2

Após realizar a simulação dos cenários verificou o impacto as modificações nos indicadores (Quadro 6.6):

- Nível de estoque
- Giro de Estoque
- *Lead time*
- Volume de estoque (loja e fábrica)

Quadro 6.6 Resultados da simulação para o Modelo # 1

Nome do Arquivo	Cenário		Indicadores				
			Estoque		Nível de Serviço (%)	Lead time (em dias)	Giro de Estoque
			Estoque Centro de Distribuição	Estoque Loja			
			(média do período)	(média do período)			
			(m2)	(m2)			
E15E40_E10E20	1	I	812,50	694,44	57,00	29,59	12,34
E7E40_E10E20	2		812,50	715,28	57,00	27,59	13,23
E5E40_E10E20	3		812,50	727,78	57,00	29,59	12,34
E3E40_E10E20	4		812,50	727,78	57,00	32,59	11,20
E2E40_E10E20	5		812,50	727,78	57,00	32,59	11,20
E15E30_E10E20	6	II	812,50	727,78	57,00	29,59	12,34
E15E20_E10E20	7		812,50	727,78	57,00	44,59	8,19
E15E10_E10E20	8		812,50	756,94	57,00	59,59	6,13
E15E5_E10E20	9		812,50	756,94	57,00	59,59	6,13
E15E40_E7E20	10	III	791,67	727,78	58,00	26,59	13,73
E15E40_E5E20	11		804,17	727,78	59,00	24,77	14,74
E15E40_E3E20	12		812,50	727,78	60,00	22,89	15,95
E15E40_E2E20	13		825,00	727,78	60,00	21,94	16,64
E15E40_E10E10	14	IV	937,50	727,78	61,00	19,59	18,63
E15E40_E10E7	15		937,50	727,78	60,00	21,43	17,03
E15E40_E10E5	16		937,50	727,78	63,00	21,43	17,03
E15E40_E10E3	17		937,50	727,78	62,00	22,94	15,91
E15E40_E10E2	18		937,50	727,78	62,00	21,94	16,64

6.6.1.1 ANÁLISE DE RESULTADOS MODELO EE -EE

No B I, considerando o sistema empurrado-empurrado, reduziu-se o I_p do centro de distribuição. Neste bloco o nível de serviço se manteve constante em 57%. Com a redução do I_p , observou-se uma leve queda do giro de estoque em 9%. E o *Lead time* máximo encontrado foi de 32 dias (figuras 6.32, 6.33, 6.34 e 6.35).

No B II, considerando o sistema empurrado-empurrado, reduziu-se o T_r do centro de distribuição. Neste bloco o nível de serviço se manteve constante, também em 57%. Com a redução do T_r , observa-se uma redução do giro de estoque de 50%. E o *Lead time* máximo encontrado foi de 60 dias (figuras 6.29, 6.30, 6.31 e 6.32).

No B III, considerando o sistema empurrado-empurrado, reduziu-se o I_p da loja. Neste bloco o nível de serviço subiu para 60%. Com a redução do I_p da loja, observa-se um aumento do giro de estoque considerável do giro de estoque de 19%. E o *Lead time* mínimo encontrado foi de 21,94 dias (figuras 6.29, 6.30, 6.31 e 6.32).

No B IV, considerando o sistema empurrado-empurrado, reduziu-se o T_r da loja. Neste bloco o nível de serviço subiu para 62%, o giro de estoque oscilou entre 16,64 e 18,63. O *Lead time* se manteve entre 19 e 22 dias (figuras 6.29, 6.30, 6.31 e 6.32).

Portanto, concluí-se, que sistema empurrado, por mais, que se realize modificações nos I_p e T_r do centro de distribuição e da loja, pouca mudanças são observadas nos indicadores, e o nível de serviço, se mantêm por volta de 60%. As informações iniciais foram baseadas nas informações coletadas durante o estudo de caso, desta forma, foi validado o modelo, no que diz respeito ao nível de serviço da cadeia atual que se encontrava em torno de 60% (figuras 6.28, 6.29, 6.30 e 6.31).

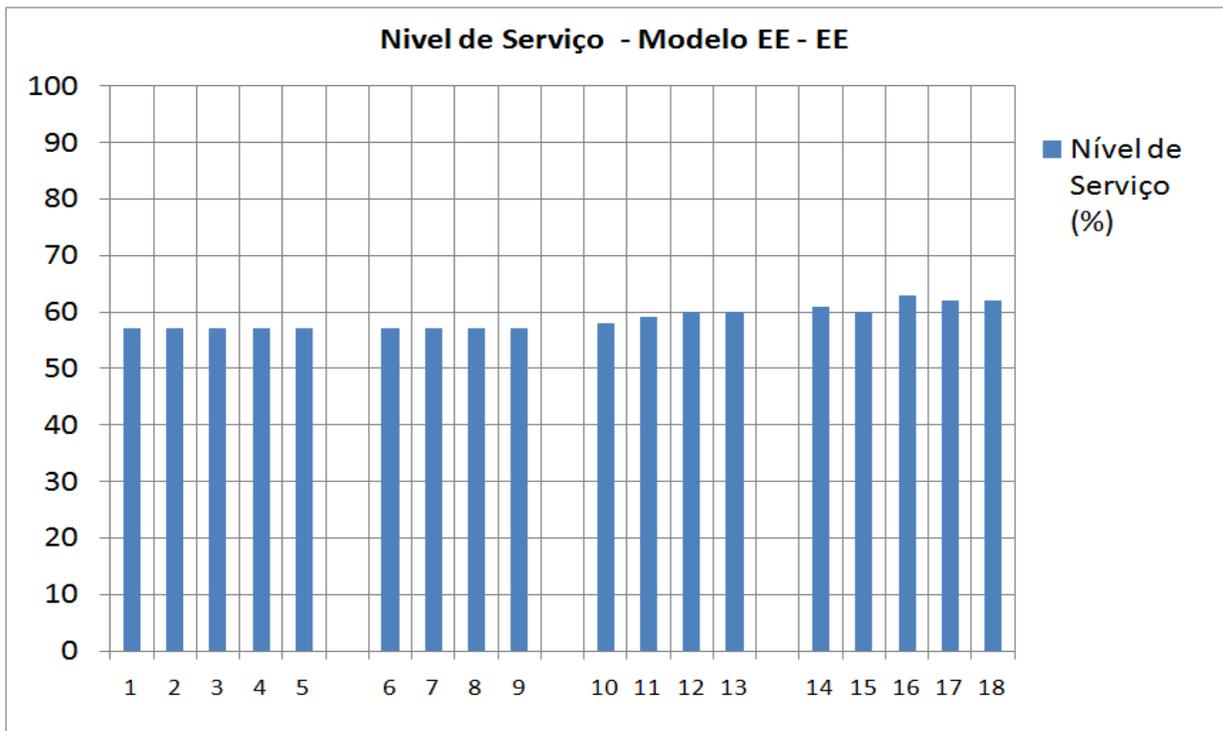


Figura 6.32 Nível de estoque para o Modelo # 1

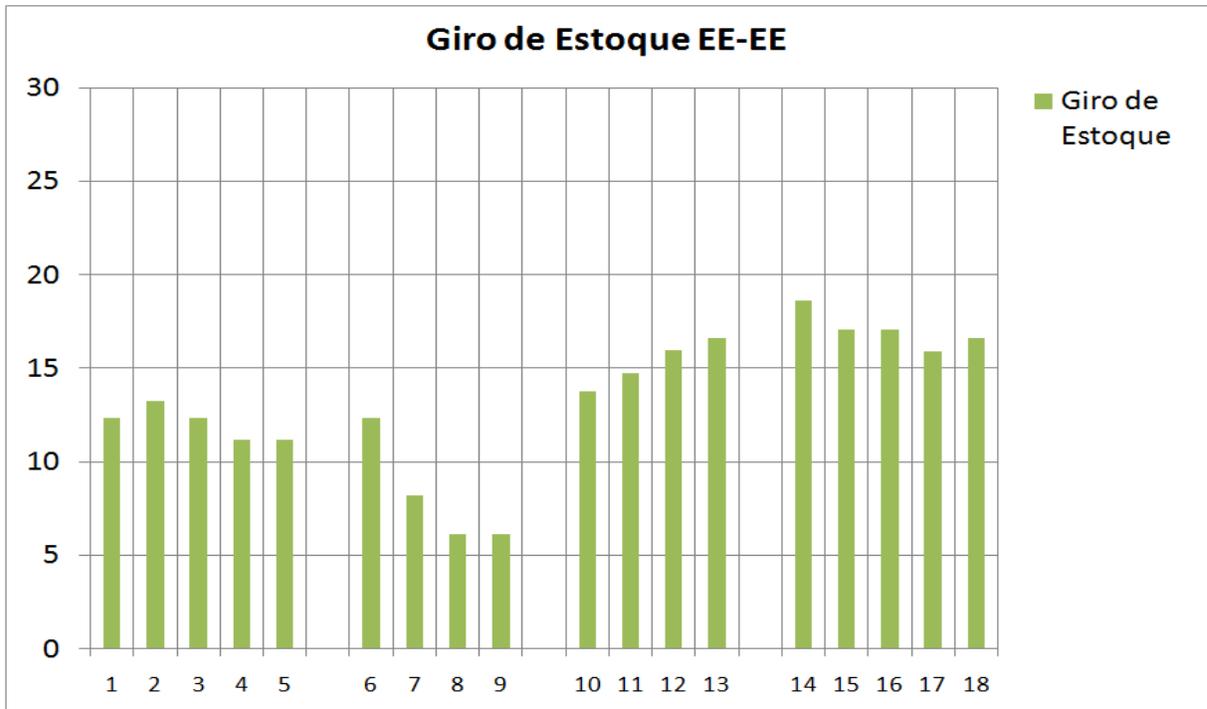


Figura 6.33 Giro de estoque para o Modelo # 1

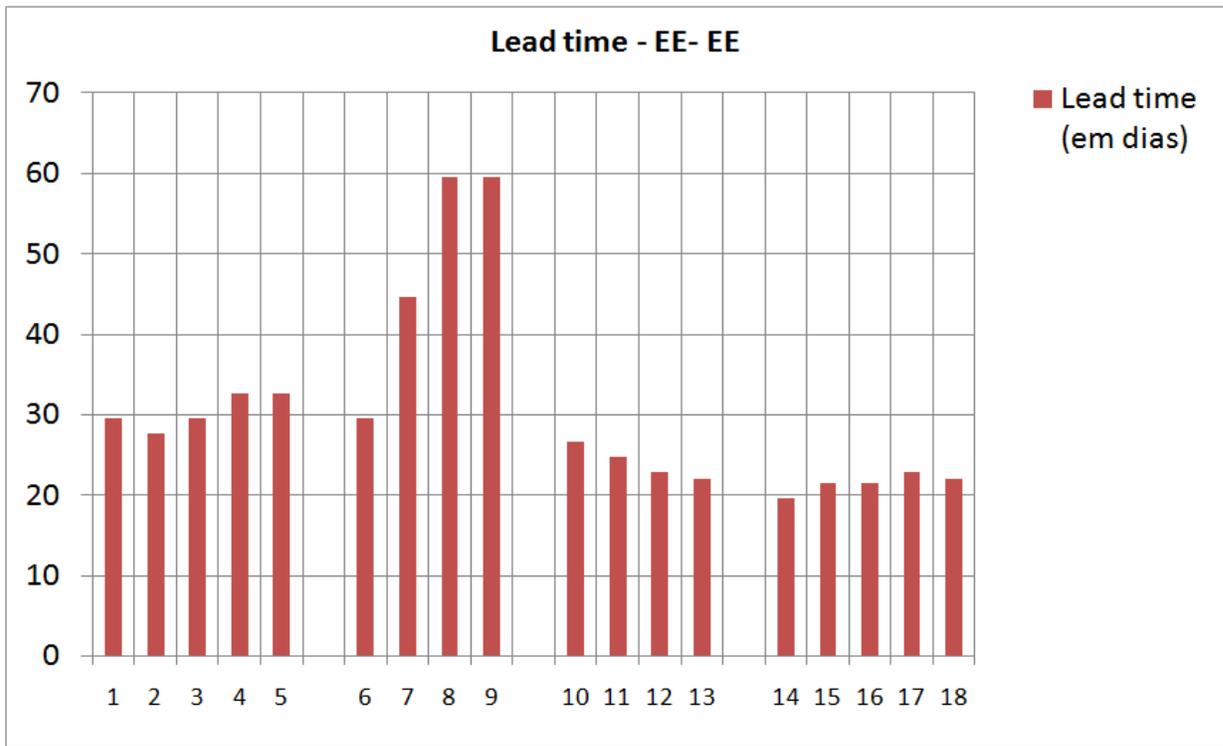


Figura 6.34 Lead para o Modelo # 1

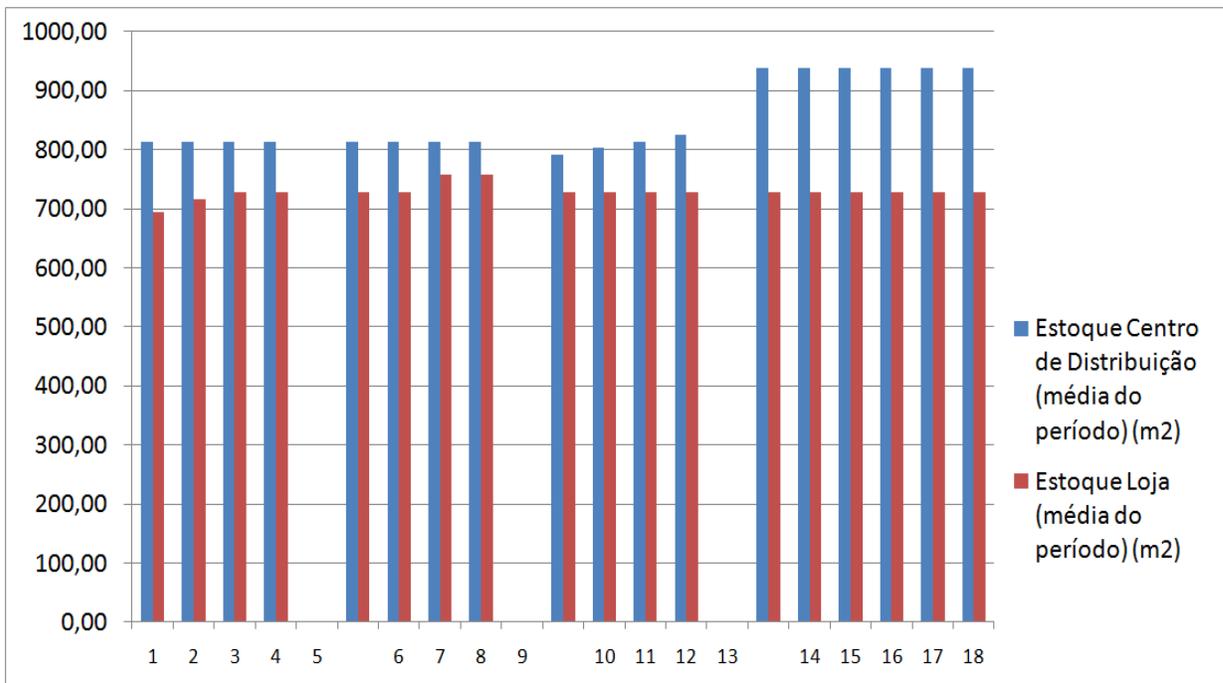


Figura 6.35 Estoques individuais para o Modelo # 1

Após a realização da primeira modelagem e coleta dos dados, de nível de serviço, os dados obtidos foram comparados com os dados reais, informado pelo gerente de planta da fábrica e pelo gerente do centro de distribuição, que informaram que o nível de serviço atualmente, gira em torno de 60%. As comparações entre os dados obtidos pela simulação com os dados reais, validou o modelo para que a partir do EE-EE pudessem ser elaborados os outros três modelos, com a aplicação das ferramentas *Lean* sugeridas: MFV, *kanban* e supermercado.

Baseado nas análises pode-se concluir que:

- Os estoques individuais foram os maiores encontrados em todos os modelos testados.
- O modelo EE-EE, manteve estoques altos para garantir o fluxo de suprimento da cadeia, esta informação se comprova a partir do gráfico de estoques individuais.
- O *lead time* apresentado foi alto e o giro de estoque baixo, estes indicadores evidenciam estoques altos ao longo da cadeia de suprimentos.
- O nível de serviço médio foi de 60%, para a cadeia como um todo, observa-se que para elevar o indicador de nível de serviço existe a necessidade de grandes melhorias e mudanças, tanto no fluxo de informação, como no fluxo de materiais.
- No modelo, observou-se as variações nos indicadores, ao se variar o tempo de reposição e intervalo de pedido da loja. Esta conclusão pode ser explicada pelo fato do agente loja fazer uma interface direta com o cliente final, e desta forma aumentar o impacto das entregas.

Ao observar as simulações realizadas no EE-EE (empurrado-empurrado), constatou-se que um elevado estoque médio é necessário para a manutenção do fluxo de materiais da cadeia de suprimentos. Uma vez que os agentes não têm informação sobre o fluxo de material e de informações dos seus fornecedores, tal

fato agrava o aumento dos estoques do sistema, que tenta suprir as variações de demanda ao longo do período.

6.6.1.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO MODELO # 1

O *Lead time* observado no EE-EE também é alto, uma vez que os estoques altos impactam significativamente no cálculo deste indicador (Figura 6.18).

O giro de estoque em cadeias EE-EE, é muito baixo, pois a rotatividade de material acaba sendo prejudicada pelo fraco planejamento de entrega de materiais também.

O sistema EE-EE mostra que mesmo com a redução do tempo de reposição e do intervalo de pedido, existe pouco impacto positivo no ressuprimentos de materiais na cadeia e no fornecimento de material para o cliente final.

Os indicadores apontados mostram um fraco planejamento, desperdício de estoques, de recursos humanos para o gerenciamento do mesmo, problemas de comunicação entre agentes, desconhecimento da demanda real, falta de adaptação as variações da demanda real, dificuldade em atender às sazonalidades de mercado.

A maioria das cadeias de suprimentos da construção civil opera desta forma, o que acarreta em grande prazo de entrega, recebimento de materiais com baixa qualidade (pois dependendo do material, existe um prazo de validade para consumo, como é o caso da argamassa).

Os participantes da cadeia de suprimentos EE-EE (empurrado-empurrado) têm dificuldade de visualizar os desperdícios que existem em um sistema que não contempla o planejamento do fluxo de informações e o fluxo de materiais ao longo do processo.

Normalmente, os altos estoques encontrados nas cadeias EE-EE, são evidências de margens de segurança adotadas para ocultar a falta de planejamento dos agentes envolvidos. Os grandes estoques e compra de grandes

lotes demandam recursos de gerenciamento onerosos, e desperdícios intrínsecos no processo que normalmente, fica despercebido aos gestores do processo.

6.6.2 SISTEMA PUXADO – EMPURRADO – MODELO # 2

O modelo KK-EE (puxado e empurrado), é o modelo que se refere à cadeia de suprimentos, que tem um dos agentes, no caso, o centro de distribuição “trabalhando com ferramentas *Lean*”, ou seja, de forma puxada, e o segundo agente trabalha de forma empurrada e tradicional.

No caso modelado, o primeiro agente, o centro de distribuição implementou as ferramentas *Lean* (MFV, *kanban* e supermercado). Supõe-se que o agente investiu na confecção de mapas de fluxo de valor para entender os seus processos internos e externos e também identificou seus estoques altos, e os reduziu, vinculando o tamanho do lote adquirido com a frequência de entrega, e também através da identificação dos desperdícios, conseguiu reduzir o tempo de reposição do material.

Importante ressaltar, que neste modelo, KK-EE, observa-se a introdução do ponto de pedido, no agente que utiliza o *kanban* para o controle de seus estoques, no caso o centro de distribuição.

No modelo KK-EE, o tempo de reposição interfere no ponto do pedido do centro de distribuição. O ponto de pedido no modelo representa um “supermercado” virtual, que sinaliza quando o estoque chega a um ponto crítico e autoriza o comprador a realizar uma nova compra e solicitar o lote recomendado.

O “supermercado” virtual utilizado no modelo foi calculado em função da mentalidade *Lean*, para que se evitasse o desperdício em estoques desnecessários. O “supermercado virtual” foi calculado da seguinte forma: intervalo do pedido multiplicado pela demanda média diária, somado com o estoque pulmão e somado com um estoque de segurança.

O lote recomendado é definido em função do *Lead time* de entrega (SMALLEY, 2004):

- Lote considerado = demanda média diária * I_p (Intervalo do pedido)

O lote a ser adquirido foi calculado em função do intervalo do pedido multiplicado pela demanda média diária. Neste modelo tem-se uma condição na variável de pedido centro de distribuição, que tem como função verificar se o estoque do agente centro de distribuição está abaixo do nível recomendado pelo supermercado, e dispara a compra, todas as vezes que o estoque se encontrar no valor determinado no ponto de pedido do centro de distribuição.

O agente, loja de materiais de construção, neste modelo # 2 trabalha de forma empurrada, ou seja, o agente irá requisitar os pedidos de compra de acordo com um planejamento prévio de compras, baseado no histórico dos últimos três meses.

No modelo KK-EE temos as ferramentas *Lean* aplicadas no agente mais distante do cliente final da cadeia de suprimentos. Foram realizadas simulações para este modelo, em um intervalo de observação de 180 dias.

Iniciou-se a simulação a partir dos dados da figura 6.12, da seção 6.2.1.7, obtida no estudo de caso da cadeia de pisos cerâmicos.

A demanda adotada foi a mesma do modelo # 1, ou seja, continuou-se trabalhando com a demanda adotada da cadeia de suprimentos.

A simples definição de um supermercado, respaldado na demanda média diária da cadeia e nos estoques pulmão e de segurança, proporciona um ganho grande de qualidade para os clientes.

Neste segundo conjunto de simulação, objetivou-se verificar se:

- No sistema Puxado- Empurrado, apresenta estoques menores do que os apresentados no sistema Empurrado-Empurrado;
- O *lead time* total apresenta-se inferior, ao *lead time* do sistema empurrado-empurrado;
- Verificar se existe variação no nível de serviço, quando se reduz o Tempo de reposição;

- Verificar se existe variação no nível de serviço, quando se reduz o Intervalo de pedidos.

O segundo conjunto de cenários foi definido a partir, exclusivamente, com os dados iniciais (figura 6.36 e quadro 6.7):

- $Tr = 40$ dias $Ip = 15$ dias (Centro de Distribuição), este agente teve modificações nestas variáveis de forma a permitir a avaliação nos diversos cenários;
- $Tr = 10$ dias $Ip = 20$ dias (Loja), sendo que estes valores foram fixados, para garantir que a primeira parte da cadeia estaria trabalhando de forma empurrada.

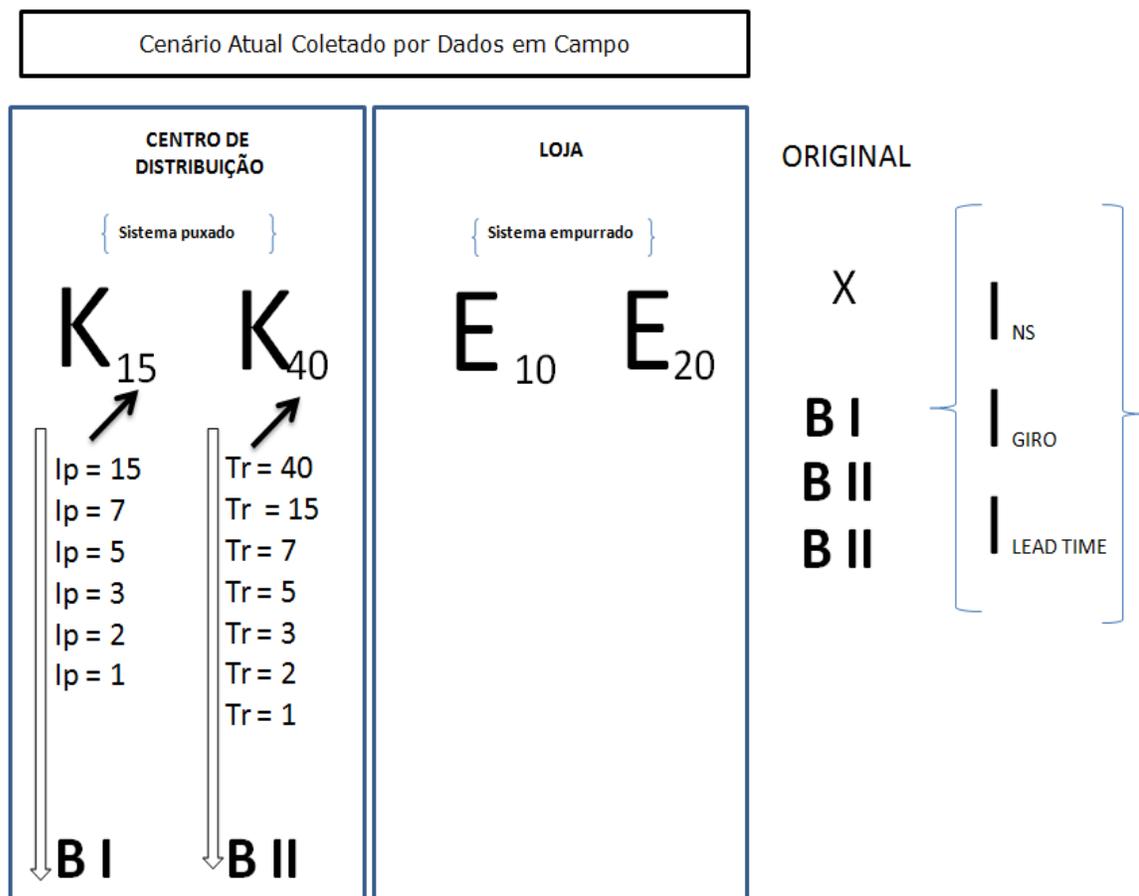


Figura 6.36 Esquema dos cenários elaborados para o Modelo # 2 Puxado - Empurrado

O conjunto de simulações de cenários seguiu a seguinte estratégia:

- B I : Reduziu-se o Intervalo de pedido do centro de distribuição
- B II: Reduziu-se o Tempo de reposição do material do centro de distribuição
- B III: Definiu-se os I_p e T_r iguais para simular um processo kanban no agente centro de distribuição. Foram combinados os cenários da seguinte forma:

Quadro 6.7 Modelo# 2 - CENÁRIOS

Nome do Arquivo	Cenário	Cenário	Agente			
			Centro de Distribuição		Loja	
			KK		EE	
			I_p	T_r	I_p	T_r
K15K40_E10E20	1	B I	15	40	10	20
K7K40_E10E20	2		7	40	10	20
K5K40_E10E20	3		5	40	10	20
K3K40_E10E20	4		3	40	10	20
K2K40_E10E20	5		2	40	10	20
K1K40_E10E20	6		1	40	10	20
K15K15_E10E20	7	B II	15	15	10	20
K15K7_E10E20	8		15	7	10	20
K15K5_E10E20	9		15	5	10	20
K15K3_E10E20	10		15	3	10	20
K15K2_E10E20	11		15	2	10	20
K15K1_E10E20	12		15	1	10	20
K7K7_E10E20	13	B III	7	7	10	20
K5K5_E10E20	14		5	5	10	20
K3K3_E10E20	15		3	3	10	20
K2K2_E10E20	16		2	2	10	20
K1K1_E10E20	17		1	1	10	20

Após realizar a simulação dos cenários, verificou o impacto as modificações nos indicadores (quadro 6.8):

- Nível de estoque
- Giro de Estoque
- *Lead time*
- Volume de estoque (loja e fábrica)

Quadro 6.8 Resultados da simulação para o modelo #2

Nome do Arquivo	Cenário	Indicadores				
		Estoque		Nível de Serviço (%)	Lead time (dias)	Giro de Estoque
		Estoque Centro de Distribuição	Estoque Home Center			
		(média do período)	(média do período)			
(m2)	(m2)					
K15K40_E10E20	1	166,67	612,5	88,00	45,45	8,03
K7K40_E10E20	2	125,01	612,5	87,00	48,84	7,47
K5K40_E10E20	3	125,01	612,5	88,00	45,45	8,03
K3K40_E10E20	4	104,17	612,5	88,00	42,45	8,60
K2K40_E10E20	5	125,01	612,5	88,00	42,45	8,60
K1K40_E10E20	6	125,01	612,5	88,00	30,45	11,99
K15K15_E10E20	7	83,33	612,5	88,00	30,45	11,99
K15K7_E10E20	8	62,51	612,5	88,00	15,45	23,63
K15K5_E10E20	9	62,51	612,5	88,00	15,45	23,63
K15K3_E10E20	10	83,33	612,5	68,00	15,00	73,00
K15K2_E10E20	11	62,50	612,5	68,00	15,00	73,00
K15K1_E10E20	12	41,67	612,5	68,00	15,00	73,00
K7K7_E10E20	13	41,67	612,5	83,00	14,00	26,07
K5K5_E10E20	14	83,33	612,5	88,00	10,45	34,94
K3K3_E10E20	15	62,50	612,5	54,00	12,00	41,00
K2K2_E10E20	16	41,67	612,5	38,00	9,00	60,02
K1K1_E10E20	17	20,83	612,5	21,00	9,00	80,30

6.6.2.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No B I, considerou-se um sistema Puxado-Empurrado e reduziu-se o I_p (Intervalo de pedido) do centro de distribuição. O nível de serviço apresentou um valor médio de 88%. O indicador de giro de estoque apresentou um valor máximo de 11,99. O *Lead time* da cadeia de suprimentos ficou compreendido entre 30,45 e 45,45 dias (figuras 6.37, 6.38, 6.39 e 6.40).

No B II, considerou-se um sistema Puxado-Empurrado e reduziu-se o Tr (Tempo de reposição) do material do centro de distribuição. O nível de serviço apresentou um valor médio de 78%, ou seja, inferior ao bloco anterior (figuras 6.37, 6.38, 6.39 e 6.40).

No B III, definiu-se os Ip e Tr iguais para simular um processo *kanban* no agente centro de distribuição. O nível de serviço teve suas maiores variações, entre 21% e 83%, pois o *kanban* no agente centro de distribuição, não consegue suprir o fluxo empurrado da loja. O giro de estoque apresentou uma alta que atingiu 80,30, e o indicador de *Lead time* ficou compreendido entre 14 e 9 dias (figuras 6.37, 6.38, 6.39 e 6.40).

Concluí-se que a implementação de sistema *kanban* no agente mais distante do cliente também traz benefício na melhoria do nível de serviço da cadeia de suprimentos, mas são menores do que a implementação de *kanban* no agente mais próximo da cliente e a implementação e do que a implementação nos dois agentes que será apresentada a seguir.

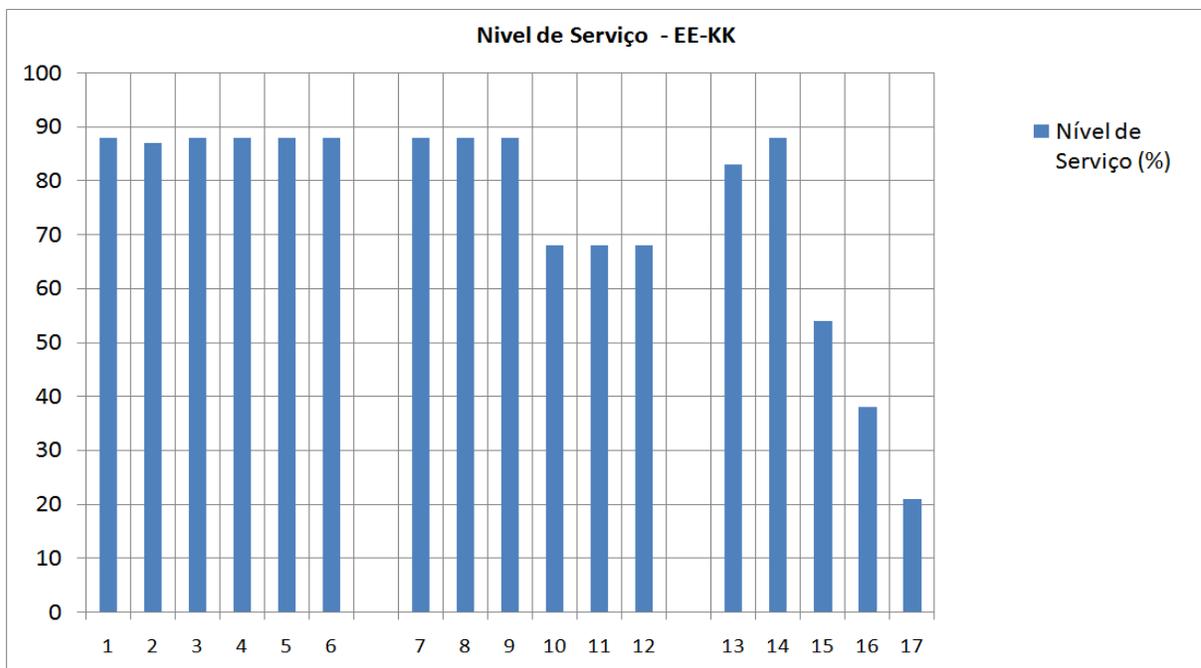


Figura 6.37 Nível de estoque para o Modelo # 2

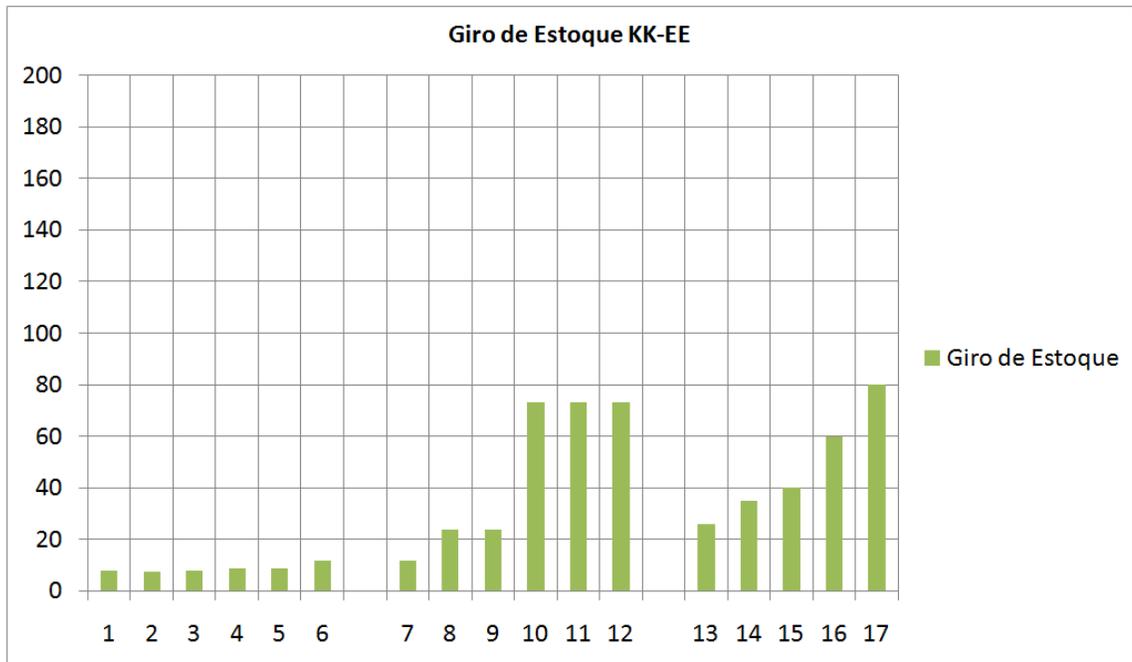


Figura 6.38 Giro de estoque para o Modelo # 2

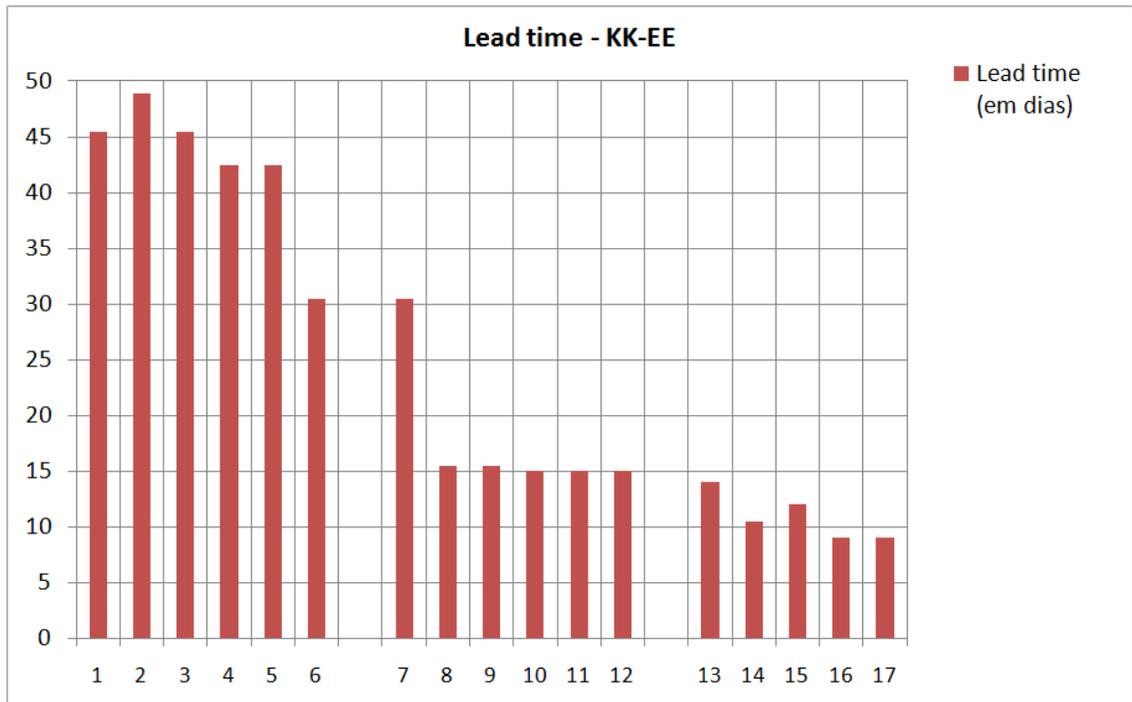


Figura 6.39 Lead time para o Modelo # 2

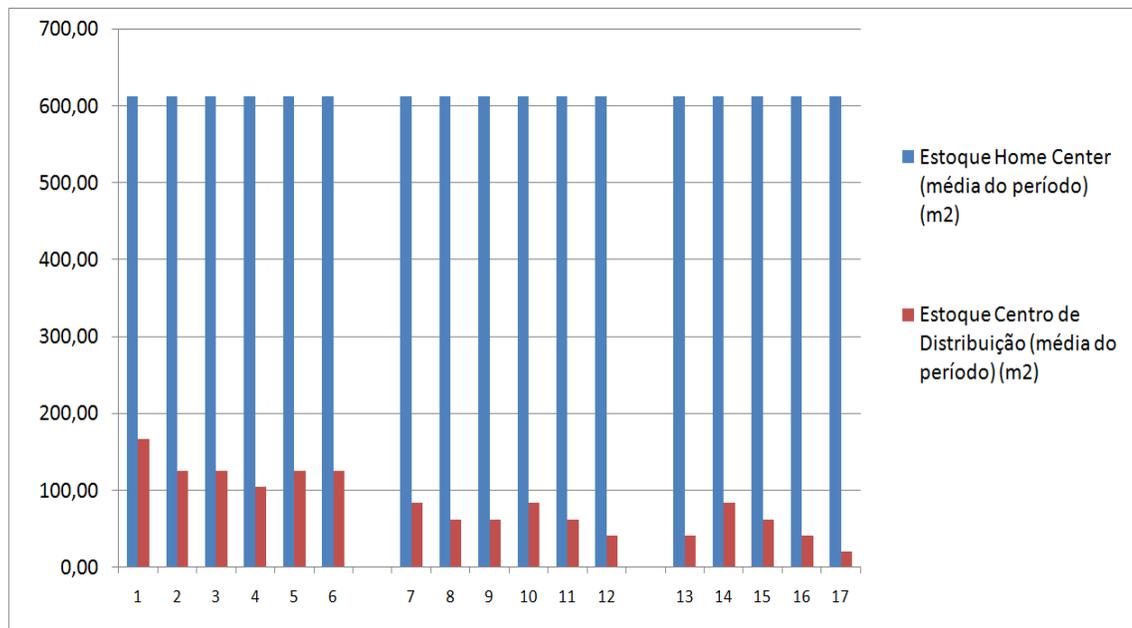


Figura 6.40 Estoques individuais para o Modelo #2

O impacto maior de melhorias apresentadas, também é observado quando se reduzir o I_p , ou seja, o intervalo de pedidos, ou ainda no fluxo de informação de pedidos do centro de distribuição.

6.6.2.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Baseado nos resultados, conclui-se que:

- Os estoques apresentados são menores do que o sistema empurrado-empurrado observa-se ainda uma redução de estoques considerável no agente centro de distribuição.
- O *Lead time* apresentado também é consideravelmente menor do que o sistema empurrado-empurrado.
- O nível de serviço apresenta uma melhoria significativa, com relação ao sistema empurrado-empurrado, mais ainda é pouco estável.
- O maior impacto observado foi no nível de serviço a partir da redução do I_p no centro de distribuição.

6.6.3 SISTEMA EMPURRADO – PUXADO – MODELO # 3

O modelo EE-KK (empurrado e puxado), é o modelo que se refere à cadeia de suprimentos, que tem um dos agentes, neste caso, a loja de materiais de construção, trabalhando com as ferramentas *Lean* em seus processos (MFV, *Kanban* e supermercado), ou seja, trabalhando de forma puxada. O agente centro de distribuição trabalha de forma empurrada. O modelo #3 expressa o sistema oposto ao apresentado no modelo #2.

Neste modelo, o segundo agente da cadeia de suprimentos, a loja de materiais de construção, implementou as ferramentas *Lean*: MFV e *kanban*. Supõe-se que a loja investiu na elaboração de mapas de fluxo de valor, para compreender seus processos internos e de seu relacionamento com o cliente final e seus fornecedores. A Loja se baseou nos desperdícios encontrados durante o mapeamento, e identificou estoques altos, e os reduziu vinculando o tamanho do lote com a frequência de entrega do material pelo seu fornecedor.

No modelo EE-KK, o tempo de reposição na loja, interfere no ponto de pedido da loja. O ponto de pedido no modelo #3 representa um “supermercado” virtual, que sinaliza para o departamento de compras, com o estoque está aproximando do nível crítico e autoriza a compra imediata de material, no caso pisos cerâmicos. Em função do intervalo de pedido e do tempo de reposição, o lote recomendado então é requisitado para o fornecedor.

O “supermercado” virtual no modelo, foi calculado, da mesma forma que o modelo EE-KK, ou seja, baseado nos princípios e mentalidade *Lean*. O “supermercado” virtual é composto por: intervalo do pedido multiplicado pela demanda média diária, somado ao estoque pulmão e mais um dia de demanda média diária, representando o estoque de segurança, anteriormente descrito.

O lote adquirido pelo agente Loja é calculado em função do intervalo do pedido multiplicado pela demanda média diária. Na variável “pedido da loja” existe uma condição que verifica se o estoque atual se encontra abaixo do nível recomendado pelo ponto de pedido, caso o estoque da loja estiver abaixo do

recomendado, é disparado um pedido de compra. O pedido de compra, será disparado todas as vezes que o estoque se encontrar abaixo do nível recomendado.

Neste modelo KK-EE, o agente centro de distribuição requisita os pedidos de compra de forma empurrada, ou seja, o agente somente requisitará os pedidos, a partir de um cronograma estipulado no início do mês que teve como base a média de demanda dos últimos três meses de vendas na loja.

No modelo KK-EE, as ferramentas *Lean* são aplicadas somente no agente loja de materiais de construção, ou seja, no agente mais ajustante da cadeia de suprimentos, ou seja, no agente mais próximo do cliente final.

Iniciou-se a simulação a partir dos dados do mapa da figura 6.12, na seção 6.2.1.1, obtidos no estudo de caso da cadeia de pisos cerâmicos.

Neste terceiro conjunto de simulação, objetivou-se verificar se:

- No sistema Empurrado – Puxado, apresenta-se estoques menores do que os apresentados no sistema Empurrado-Empurrado e sistema Puxado-Empurrado;
- O *lead time* se apresenta inferior aos sistemas anteriores testados;
- Variação do nível de serviço, quando se reduz o Tempo de reposição;
- Variação do nível de serviço, quando se reduz o Intervalo de pedido.

O terceiro conjunto de cenários foi definido a partir, exclusivamente, com os dados iniciais (figura 6.41 e quadro 6.9):

- $Tr = 40$ dias $Ip = 15$ dias (Centro de Distribuição), sendo que estes valores foram fixados, para garantir que a primeira parte da cadeia estaria trabalhando de forma empurrada;
- $Tr = 10$ dias $Ip = 20$ dias (Loja), este agente teve modificações nestas variáveis de forma a permitir a avaliação nos diversos cenários.

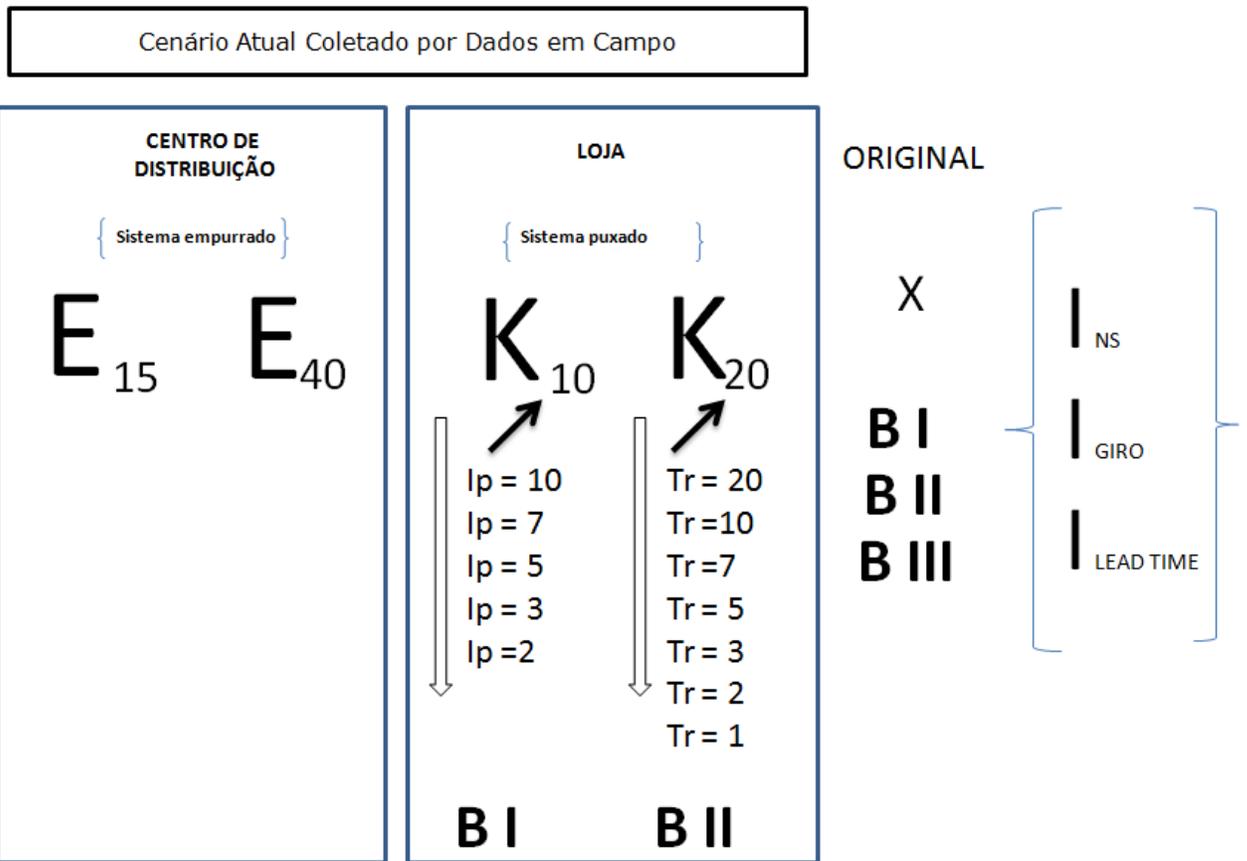


Figura 6.41 Esquema dos cenários elaborados para o Modelo # 3 Empurrado-Puxado

O conjunto de simulações de cenários seguiu a seguinte estratégia:

- BI : Reduziu-se o Intervalo de pedido da loja
- BII: Reduziu-se o Tempo de reposição do material da loja
- BIII: Adotou-se os l_p e Tr iguais para simular um processo *kanban* no agente Loja. Foram combinados os cenários da seguinte forma:

Quadro 6.9 Modelo # 3 - Cenários

Nome do Arquivo	Cenário	Agentes			
		Centro de Distribuição		Loja	
		EE		KK	
		<i>Ip</i>	<i>Tr</i>	<i>Ip</i>	<i>Tr</i>
E15E40_K10K20	1	15	40	10	20
E15E40_K10K10	2	15	40	10	10
E15E40_K10K7	3	15	40	10	7
E15E40_K10K5	4	15	40	10	5
E15E40_K10K3	5	15	40	10	3
E15E40_K10K2	6	15	40	10	2
E15E40_K10K1	7	15	40	10	1
E15E40_K7K20	8	15	40	7	20
E15E40_K5K20	9	15	40	5	20
E15E40_K3K20	10	15	40	3	20
E15E40_K2K20	11	15	40	2	20
E15E40_K7K7	12	15	40	7	7
E15E40_K5K5	13	15	40	5	5
E15E40_K3K3	14	15	40	3	3
E15E40_K2K2	15	15	40	2	2

Após realizar a simulação dos cenários, verificou o impacto as modificações nos indicadores (Quadro 6.10):

- Nível de estoque
- Giro de Estoque
- *Lead time*
- Volume de estoque (loja e fábrica)

Quadro 6.10 Resultados da simulação para o Modelo #3

Nome do Arquivo	Cenário		Indicadores				
			Estoque		NS	Lead time	Giro de Estoque
			Estoque Centro de Distribuição	Estoque Loja			
E15E40_K10K20	1	B I	861,11	927,78	88,00	30,00	12,17
E15E40_K10K10	2		861,11	698,61	94,00	18,62	19,60
E15E40_K10K7	3		861,11	469,44	96,00	15,55	23,47
E15E40_K10K5	4		861,11	261,11	97,00	13,85	26,36
E15E40_K10K3	5		861,11	511,11	98,00	10,58	34,48
E15E40_K10K2	6		861,11	511,11	99,00	8,00	22,27
E15E40_K10K1	7		861,11	386,11	99,00	8,00	22,27
E15E40_K7K20	8	B II	861,11	136,11	87,00	41,20	8,86
E15E40_K5K20	9		861,11	136,11	87,00	41,20	8,86
E15E40_K3K20	10		861,11	344,44	87,00	40,94	8,91
E15E40_K2K20	11		861,11	261,11	88,00	39,46	9,25
E15E40_K7K7	12	B III	861,11	94,44	96,00	24,20	15,08
E15E40_K5K5	13		861,11	94,44	97,00	22,63	16,13
E15E40_K3K3	14		861,11	261,11	97,00	20,99	17,39
E15E40_K2K2	15		861,11	198,61	99,00	18,19	20,07

6.6.3.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No B I, considerando o sistema Empurrando-Puxado, reduziu-se o I_p (Intervalo de pedido) da loja. Neste bloco o nível de serviço médio ficou em 93,5%. O nível de serviço apresentou valores altos, devido à redução do I_p da loja. Com a redução do I_p , observou-se um giro de estoque máximo de 22,27. E o *Lead time* mínimo encontrado foi de oito dias (figuras 6.39, 6.40, 6.41 e 6.42).

No B II, reduziu-se o T_r (Tempo de reposição) do material da loja. O nível de serviço apresentou um valor médio de 87%. O indicador de giro de estoque

ficou compreendido entre 8,86 e 9,25 e o *lead time* mínimo ficou em 39,46 dias (figuras 6.42, 6.43, 6.44 e 6.45).

No B III, simulou-se o processo *kanban* no agente Loja. O nível de serviço variou de 96% a 99 %. O indicador de giro de estoque apresentou um valor máximo de 18,19 e o *Lead time* ficou compreendido em 18,19 e 24,20 dias (figuras 6.39, 6.40, 6.41 e 6.42).

Observa-se que o sistema *kanban* no último agente, ou o mais próximo do cliente final, pode trazer grandes benefícios para a cadeia, no que diz respeito à melhoria da qualidade de serviço. E na escolha da redução de tempos, a redução do intervalo do pedido, ou seja, a redução do tempo no fluxo de informação do pedido traz maiores benefícios do que o tempo de reposição do material (figuras 6.39, 6.40, 6.41 e 6.42).

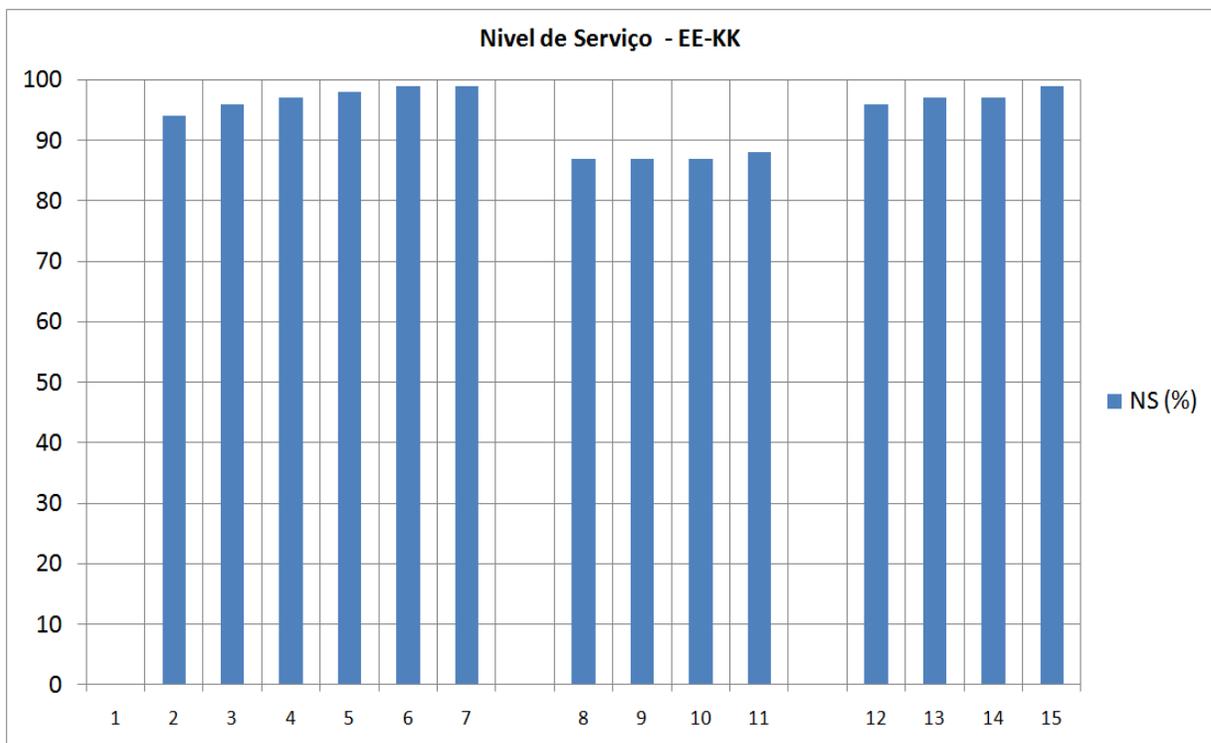


Figura 6.42 Nível de serviço para o Modelo #3

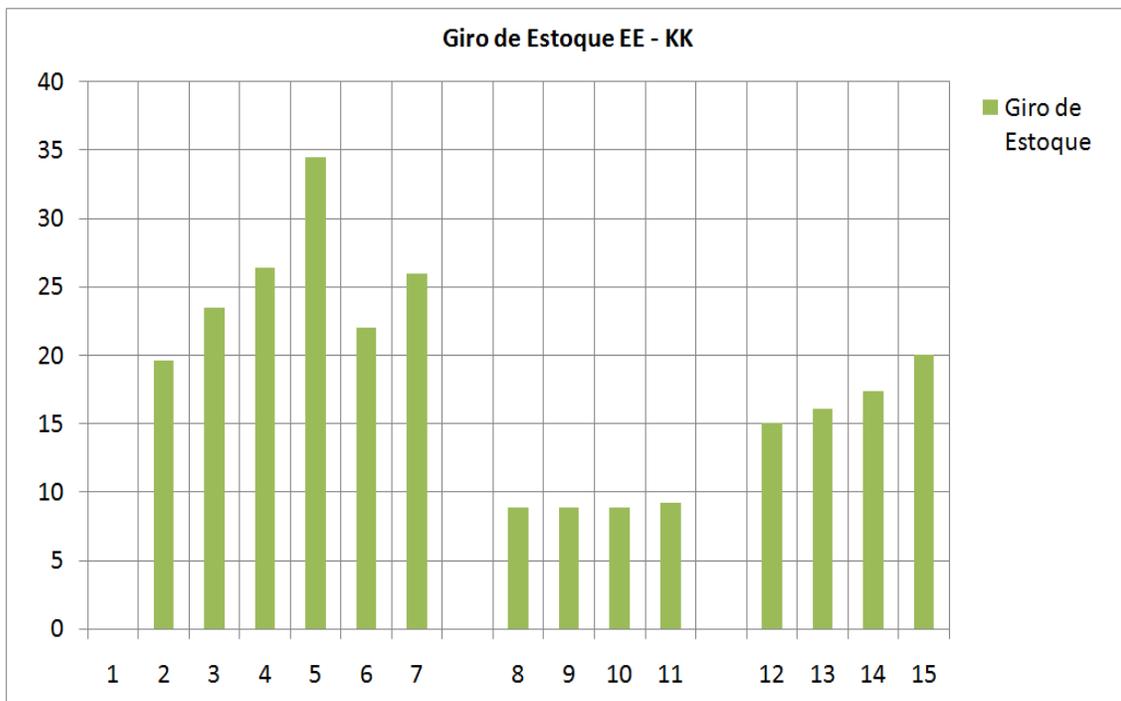


Figura 6.43 Giro de estoque para o Modelo # 3

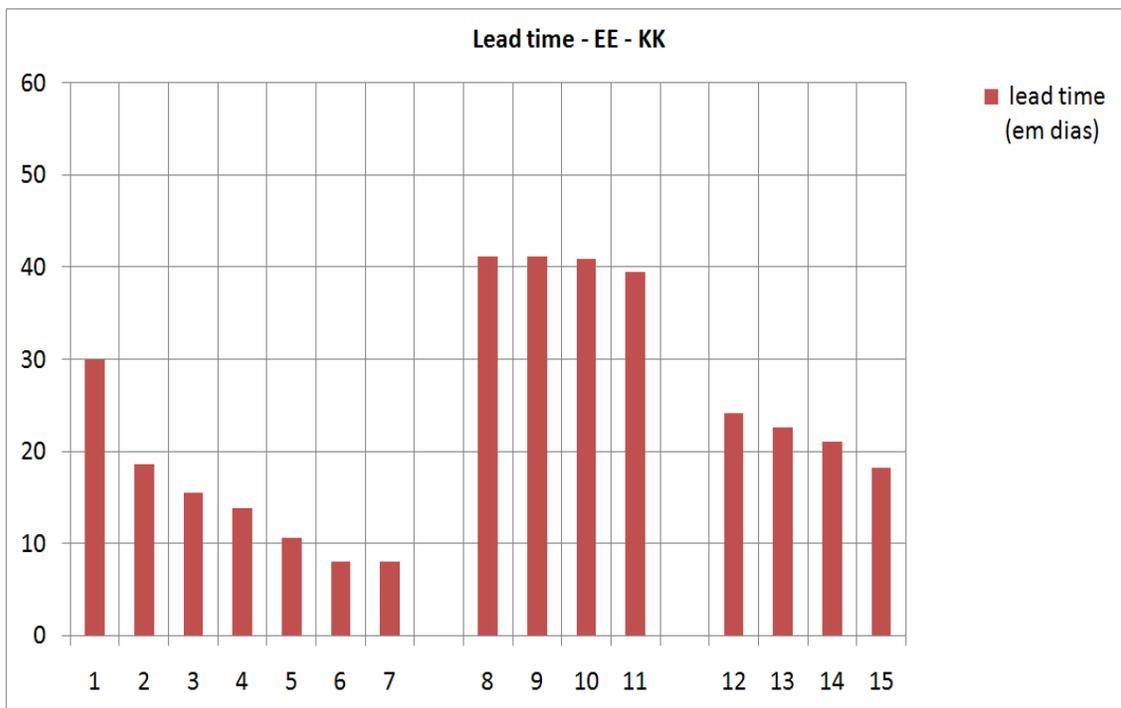


Figura 6.44 Lead time para o Modelo # 3

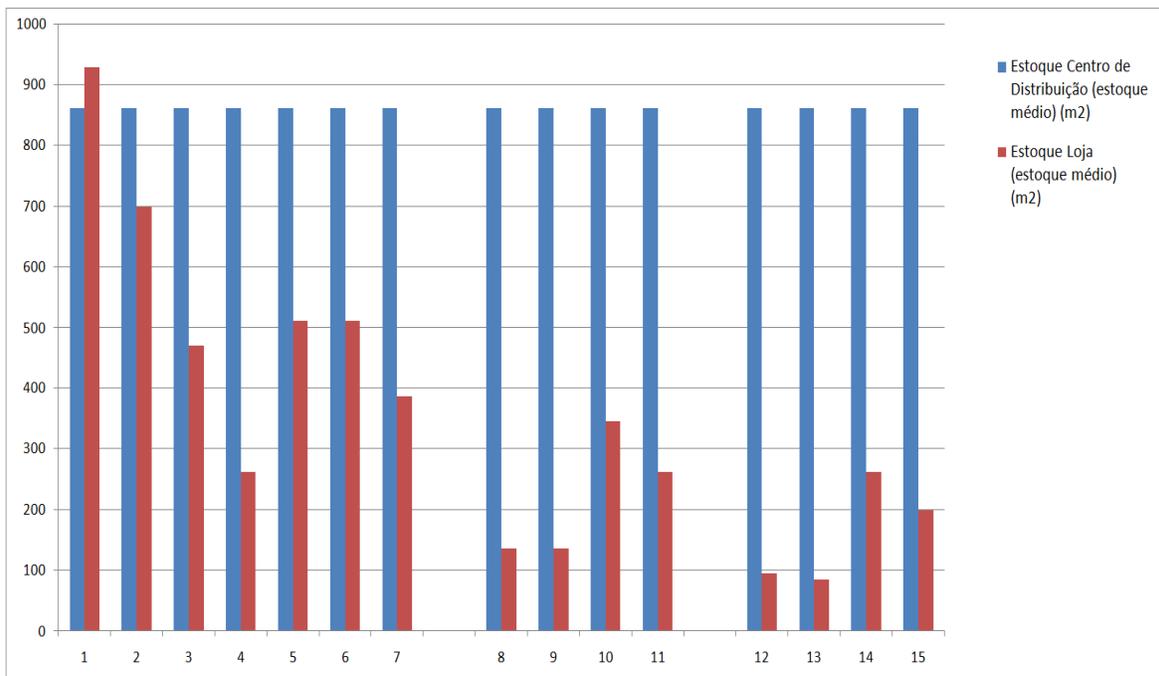


Figura 6.45 Estoques individuais para o Modelo # 3

6.6.3.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO MODELO # 3

A partir dos resultados conclui-se que:

- Os estoques individuais apresentados são menores do que os estoques dos modelos anteriores. Mas, são os estoques da loja que apresentam uma grande redução, devido a alteração do I_p e T_r .
- O indicador de *Lead time*, ainda se mantém alto, devido aos estoques encontrados no agente centro de distribuição.
- O nível de serviço apresenta uma melhora, chegando ao valor máximo de 99%. Este patamar foi observado quando se aplicou-se o *kanban* no último agente.
- Ao se aplicar a redução do T_r da loja, encontra-se nível de estoques por volta de 87%, portanto, o maior impacto na qualidade de nível de serviço pode ser observado quando se reduz o I_p , ou seja, se reduz o tempo do fluxo de informação do pedido na loja.

Estas informações são importantes para a tomada de decisão em um processo de implantação, onde é necessária a determinação de quais atividades devem ser modificadas e sua seqüência também.

6.6.4 SISTEMA PUXADO – PUXADO – MODELO # 4

No modelo KK-KK (puxado-puxado), procurou-se reproduzir no modelo a implementação dos princípios *Lean* e sua filosofia, a partir da utilização de *kanbans* e supermercados nos dois agentes: centro de distribuição e loja de materiais de construção.

A modelagem proposta se respaldou totalmente no modelo apresentado de macro mapa de fluxo de valor de Womack e Jones (2004). Este modelo teve-se a intenção de caracterizar o fluxo de informação pelo intervalo de pedido (*lp*), que representa o tempo que o pedido necessita ser atendido pelo fornecedor, e o fluxo de materiais, representado pelo tempo de reposição do material no site do requisitante.

O modelo #4 contemplou com sucesso, a sistemática descrita pelos autores, Womack e Jones (2004), a medida que considera a necessidade de reposição do estoque, sempre em função do pedido do cliente final.

A aplicação do *kanban*, nestes dois agentes garantiu a utilização de quatro dos princípios *Lean*, observados pelos autores:

- Valor – O foco de uma cadeia *Lean*, é a atenção total ao valor entregue para o cliente final, portanto, o objetivo principal da cadeia, é atender o cliente, na quantidade, qualidade e prazos requisitados.
- Cadeia de Valor – Neste modelo #4 foi simulado o comportamento ideal que os agentes da cadeia de suprimentos necessitam estabelecer para que se consiga o máximo de eficiência no nível de serviço, com baixos estoques, altos giros e *Lead times* baixos.
- Fluxo de valor - No modelo #4 conseguiu-se garantir o fluxo do material, uma vez que o material que permeia a cadeia de suprimentos é exclusivamente puxado pelo requisitante.

- Sistema Puxado – No modelo #4, este foi o princípio que norteou toda a modelagem, para que pudesse definir as variáveis e equações de forma a garantir a “puxada do cliente final” dos pedidos.

O quinto princípio, melhoria contínua, seria a constante reprodução dos resultados, com a intenção de melhorar os resultados até atingirem a perfeição.

No modelo #4, o lote do pedido está totalmente vinculado ao intervalo do pedido, tanto para o agente centro de distribuição como para a loja de materiais de construção.

O tempo de reposição neste modelo também foi vinculado a condição, que dispara a compra. Ou seja, todas as vezes que o estoque atingir um nível crítico, baseado no cálculo do supermercado virtual, dispara-se um pedido de compra, que é imediatamente enviado para o fornecedor. Este ciclo foi adotado para os dois agentes envolvidos, ou seja, os agentes trabalham de uma forma integrada, com um único objetivo de atender o cliente final da melhor forma possível.

As compras solicitadas não mais se baseiam, em históricos de venda, mas sim na necessidade do agente cliente e em suas requisições.

Os indicadores *Lean* para a cadeia de suprimentos, foram calculados na mesma forma, que para os outros modelos, o que nos permitiu uma comparação imparcial dos resultados obtidos.

Iniciou-se a simulação com os tempos de I_p e T_r propostos:

Neste quarto conjunto de simulação, objetivou-se verificar se:

- O sistema Puxado - Puxado apresenta estoques menores do que os outros conjuntos apresentados;
- O lead time do sistema Puxado-Puxado se apresenta menor do que os outros conjuntos;
- Se o nível de serviço atinge 100%;

- Existe variação no nível de serviço, quando se reduz o Tempo de reposição;
- Existe variação no nível de serviço, quando se reduz o Intervalo de pedidos.

O quarto conjunto de cenários foi definido a partir, exclusivamente, com os dados iniciais:

- $Tr = 5$ dias $Ip = 5$ dias (Centro de Distribuição), este agente teve modificações nestas variáveis de forma a permitir a avaliação nos diversos cenários.
- $Tr = 5$ dias $Ip = 5$ dias (Loja), este agente teve modificações nestas variáveis de forma a permitir a avaliação nos diversos cenários.

O conjunto de simulações de cenários seguiu a seguinte estratégia:

- B I : reduziu-se o Intervalo de pedido e Tempo de reposição de 5 dias para 4 dias.
- B II: reduziu-se o Intervalo de pedido e Tempo de reposição de 4 dias para 3 dias.
- B III: reduziu-se o Intervalo de pedido e Tempo de reposição de 3 dias para 2 dias.
- B IV: reduziu-se o Intervalo de pedido e Tempo de reposição de 2 dias para 1 dias. Foram combinados os cenários da seguinte forma (figura 6.46 e quadro 6.11):

Cenário Atual Coletado por Dados em Campo

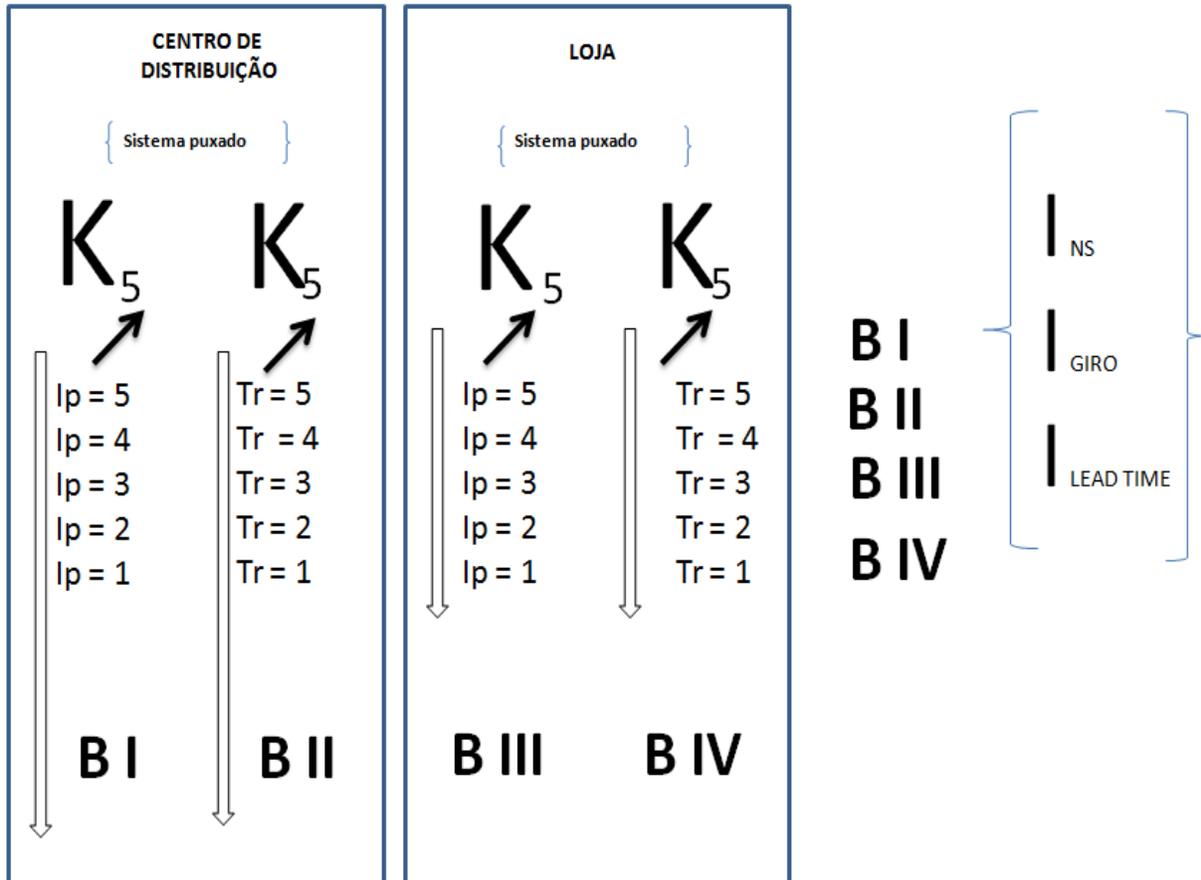


Figura 6.46 Esquema dos cenários elaborados para o Modelo # 4 Puxado-Puxado

Quadro 6.11 Modelo # 4 - Cenários

Nome do Arquivo	Cenário	Agente			
		Centro de Distribuição		Home Center	
		KK		KK	
		<i>Ip</i>	<i>Tr</i>	<i>Ip</i>	<i>Tr</i>
K5K5_K5K5	1	5	5	5	5
K5K5_K5K4	2	5	5	5	4
K5K5_K4K4	3	5	5	4	4
K5K4_K4K4	4	5	4	4	4
K4K4_K4K4	5	4	4	4	4
K4K4_K4K3	6	4	4	4	3
K4K4_K3K3	7	4	4	3	3
K4K3_K3K3	8	4	3	3	3
K3K3_K3K3	9	3	3	3	3
K3K3_K3K2	10	3	3	3	2
K3K3_K2K2	11	3	3	2	2
K3K2_K2K2	12	3	2	2	2
K2K2_K2K2	13	2	2	2	2
K2K2_K2K1	14	2	2	2	1
K2K2_K1K1	15	2	2	1	1
K2K1_K1K1	16	2	1	1	1
K1K1_K1K1	17	1	1	1	1

Após realizar a simulação dos cenários, verificou o impacto as modificações nos indicadores (quadro 6.12):

- Nível de estoque
- Giro de Estoque
- *Lead time*
- Volume de estoque (loja e fábrica)

Quadro 6.12 Resultados da simulação para o Modelo # 4

Nome do Arquivo	Cenário	Indicadores				
		Estoque		NS	Lead time	Giro de Estoque
		Estoque CD (m2)	Estoque Loja (m2)			
K5K5_K5K5	1	262	159	98,00	56,00	6,49
K5K5_K5K4	2	120	124	98,00	11,24	32,00
K5K5_K4K4	3	82	90	98,00	30,42	12,00
K5K4_K4K4	4	120	25	98,00	19,00	18,80
K4K4_K4K4	5	180	60	98,00	27,00	13,00
K4K4_K4K3	6	150	55	98,00	27,00	13,00
K4K4_K3K3	7	67	38	99,00	14,13	25,00
K4K3_K3K3	8	40	38	99,00	26,00	13,00
K3K3_K3K3	9	112	60	99,00	23,00	15,00
K3K3_K3K2	10	90	39	99,00	20,00	18,00
K3K3_K2K2	11	60	39	100,00	13,00	27,00
K3K2_K2K2	12	75	25	100,00	13,00	27,00
K2K2_K2K2	13	75	26	100,00	13,00	27,00
K2K2_K2K1	14	20	37	100,00	7,60	48,00
K2K2_K1K1	15	12	27	100,00	5,39	67,00
K2K1_K1K1	16	12	27	100,00	5,00	85,00
K1K1_K1K1	17	12	27	100,00	5,39	90,00

6.6.4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No B I, considerando o sistema puxado-puxado, reduziu-se o I_p (Intervalo de pedido) e T_r (Tempo de reposição) de 5 dias para 4 dias. O nível de serviço manteve patamares altos de 98%. O *Lead time* ficou compreendido entre 19 e 56 dias. O giro de estoque deste bloco ficou compreendido entre 6,49 e 18,80 (figuras 6.44, 6.45, 6.46 e 6.47).

No B II, considerando o sistema puxado-puxado, reduziu-se o Intervalo de pedido e Tempo de reposição de 4 dias para 3 dias. O nível de serviço ficou compreendido entre 98% e 99%. O *Lead time* ficou compreendido entre 14 e 27 dias. O giro de estoque deste bloco ficou compreendido entre 13 e 25 (figuras 6.47, 6.48, 6.49 e 6.50).

No B III, considerando o sistema puxado-puxado, reduziu-se o Intervalo de pedido e Tempo de reposição de 3 dias para 2 dias. O nível de serviço ficou entre 99% e 100%. O *Lead time* ficou compreendido entre 13 e 23 dias. O giro de estoque deste bloco ficou compreendido entre 15 e 27 (figuras 6.44, 6.45, 6.46 e 6.47).

No B IV, considerando o sistema puxado-puxado, reduziu-se o Intervalo de pedido e Tempo de reposição de 2 dias para 1 dia. O nível de serviço atingiu o 100% de atendimento ao cliente final. O *Lead time* ficou compreendido entre 5,39 e 13 dias. O giro de estoque deste bloco ficou compreendido entre 27 e 90 (figuras 6.44, 6.45, 6.46 e 6.47).

A partir destes resultados, observam-se os benefícios que existem ao se adotar uma ferramenta como o *kanban* na cadeia de suprimentos como um todo.

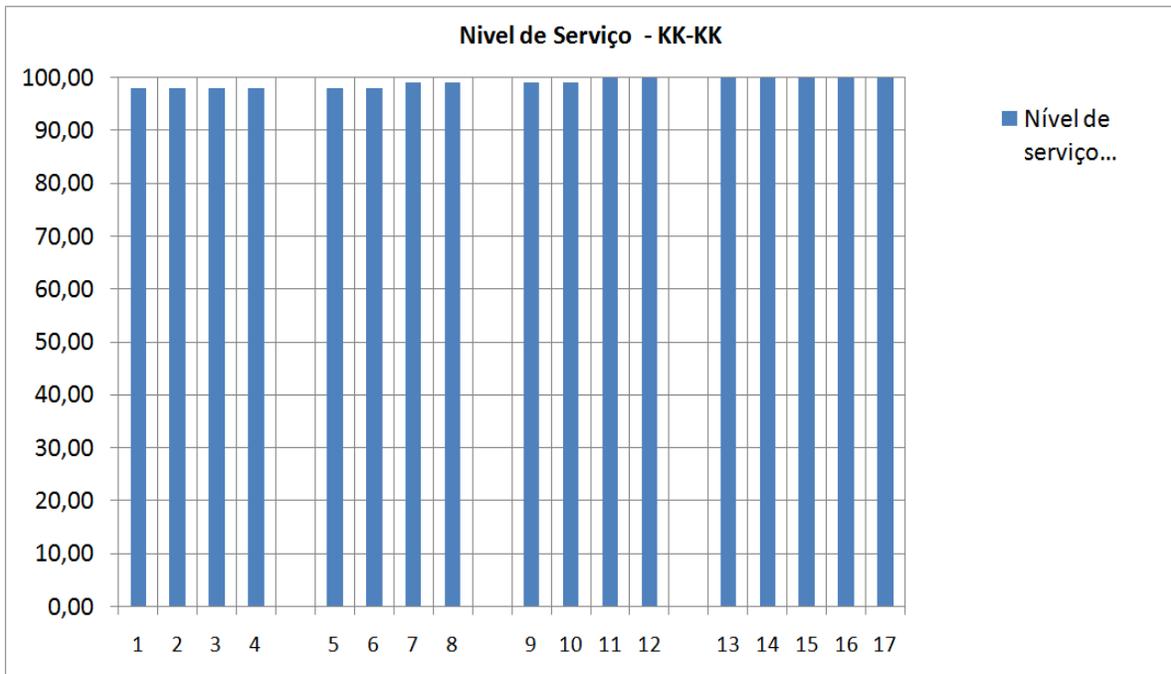


Figura 6.47 Nível de serviço para o Modelo # 4

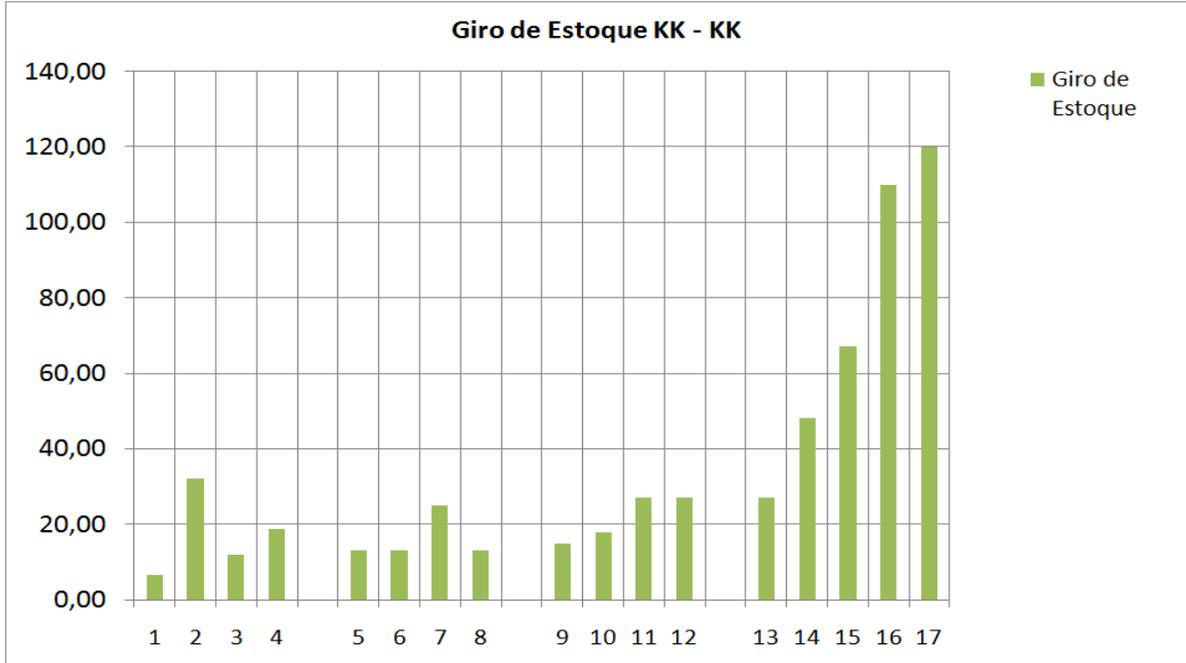


Figura 6.48 Giro de estoque para o Modelo # 4

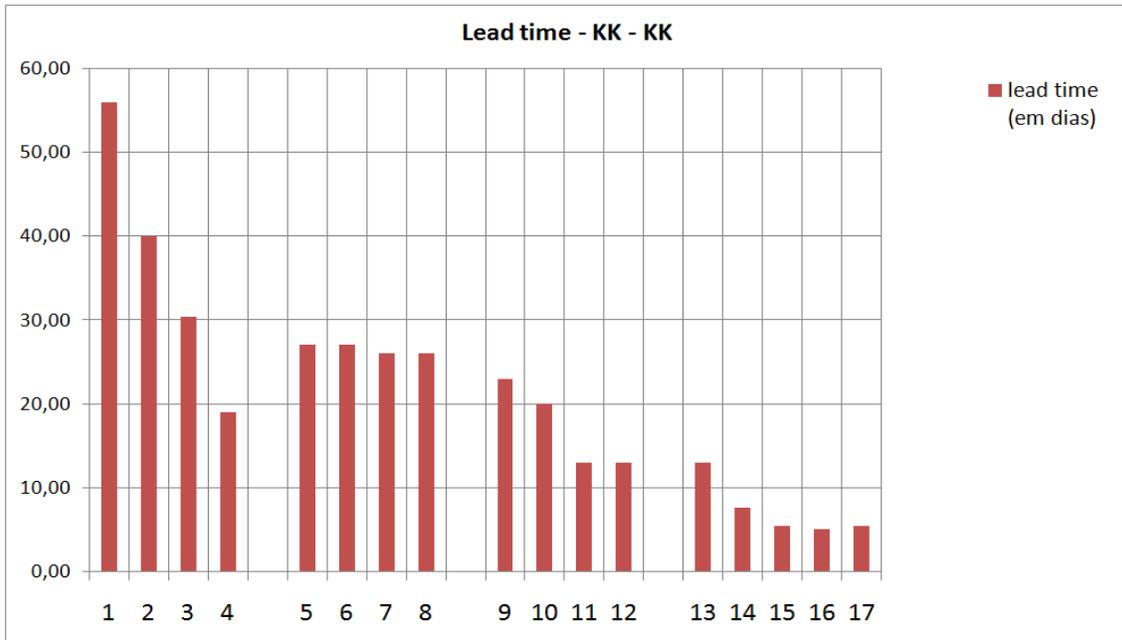


Figura 6.49 Lead time para o Modelo # 4

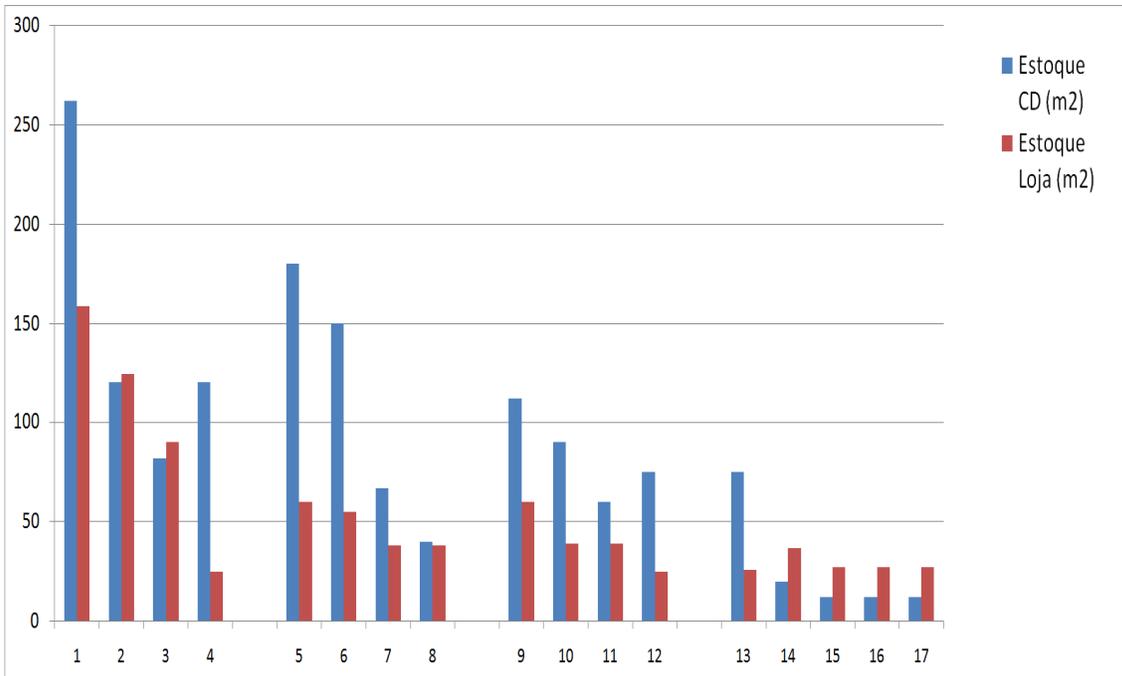


Figura 6.50 Estoques individuais para o Modelo # 4

6.6.4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO MODELO # 4

A partir dos resultados do modelo # 4, conclui-se que:

- Ao observar o gráfico de estoque individual, observa-se uma grande redução, devido ao *kanban* implementado nos agentes;
- O indicador de *Lead time* apresentado no sistema Puxado-Puxado é inferior ao *Lead time* apresentado nos modelos anteriores;
- O nível de serviço da cadeia de suprimentos gira em torno de 99%, atingindo o patamar máximo de 100%, em sete dos dezessete cenários projetados;
- As variações entre o intervalo do pedido e o tempo de reposição, agora foram combinadas e trabalham no contexto da cadeia de suprimentos, de forma a estabilizar o processo.

6.7 DISCUSSÃO FINAL DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir dos modelos, muitas vezes substitui a experiência prática de análise de estudos de casos de diferentes cadeias de suprimentos e dos resultados obtidos com várias estratégias de implementação.

Obviamente, o modelo é um resumo simplificado da realidade, onde se tenta prever os comportamentos esperados para diversas ações supostas, entretanto não se pode esquecer que, ainda existe o imponderável e as circunstâncias do acaso, mas os modelos possibilitam uma quantificação dos possíveis benefícios de uma implementação.

As implantações devem ser planejadas e quantificadas. Para isto, se houver informações relativas ao fluxo de informações e materiais, tais como, intervalo do pedido, tempo de reposição, tamanho do lote, podem sem dúvida, aumentar as chances de sucesso de uma implementação *lean*.

Este fato exemplifica uma situação onde a cadeia de suprimentos, não tendo recursos para iniciar uma implementação integral, pode com informações, interferir e possibilitar ações de forma pontual nos agentes mais ajusante e, desta forma, aumentar o valor do seu produto para seu cliente final. Estas observações intuitivas podem ser comprovadas e demonstradas através de dados relatados obtidos através dos modelos.

Estas informações são imprescindíveis quando se inicia um projeto de implementação de melhorias e implementação de ferramentas *Lean* em sistemas complexos, onde se tem envolvidos diferentes participantes, com processos e tempos distintos.

A implementação *lean* em cadeia de suprimentos, como um todo, muitas vezes pode ser demorada, uma vez que é necessária além de um planejamento sincronizado entre os agentes uma mudança de mentalidade entre os participantes.

Quando se utilizam ferramentas *lean* em um modelo de simulação para avaliação os impactos na implementação, tais como, a aplicação do mapa de

fluxo de valor, macro mapa de fluxo de valor, sistema *kanban* para a visualização e controle de estoques e o supermercado, é possível apresentar aos envolvidos a necessidade de organização dos processos e as melhorias que podem ser alcançadas em função da adoção de uma política de estoques apropriada.

Os modelos criados devem ser simples e na medida do possível devem representar a realidade da forma transparente, clara e possível. Não pode existir dúvidas com relação de que forma é realizada a comunicação entre agentes, e deve-se partir sempre da situação atual, para que os benefícios de uma implementação *Lean*, possa ser quantificado, assim como no mapeamento de fluxo de valor.

O desenho do modelo da cadeia de suprimentos deve ter a simplicidade de um mapeamento de fluxo de valor, deve ser realizado em conjunto com os gestores do processo, que conhecem os comportamentos e os tempos de entrega e abastecimento. Por isso, recomenda-se que antes de se iniciar uma modelagem, seja realizado um macro mapeamento de fluxo de valor para entender os processos e as relações entre os fornecedores, bem como, seus lotes, estoques, freqüências de entregas, tempos de pedidos, assim como foi realizada nesta pesquisa.

A construção destes quatro modelos teve como intenção de modelar a cadeia de suprimentos de piso cerâmico, mas também criar modelos, que pudessem ser aplicados a outras cadeias, e reproduzir as características encontradas nas quatro situações, onde se tem como foco: o centro de distribuição e loja agente.

Durante a modelagem, os agentes devem definir os objetivos em comum, e uma estratégia comum, esta estratégia irá respaldar os indicadores que deverão ser modelados, e posteriormente, as variáveis que iram fazer parte dos modelos.

Nos estudos de caso, priorizaram-se indicadores que mostrassem tempos e estoques, por serem medidas que a filosofia *Lean* acredita ser fundamental para a avaliação do desempenho de uma cadeia de suprimentos.

O indicador de nível de serviço merece destaque, uma vez que, representa a qualidade de atendimento do pedido do cliente. Esta qualidade está relacionada ao prazo, quantidade e forma de atendimento do pedido.

Concluí-se também, a partir dos resultados apresentados que, a implementação de uma ferramenta lean, como o *kanban*, pode aumentar em até 66% a eficiência do atendimento do nível de serviço da cadeia de suprimentos, em relação ao estado atual, onde a cadeia de suprimentos trabalha com o sistema puxado de pedidos.

Melhores resultados são obtidos quando o I_p e o Tr , são reduzidos simultaneamente. A redução do intervalo de pedido ou do tempo de reposição individualmente possibilita a melhoria do nível de serviço também, embora menor do que a redução das duas variáveis combinadas.

Concluí-se também que a redução do I_p e Tr , quando associada com a ferramenta *kanban*, possibilita uma redução de estoques considerável, que pode ser observada nas tabelas de resultados dos modelos # 2, # 3 e # 4.

Iniciativas pontuais em agentes são válidas, e comumente iniciais transformações em grandes cadeias, mas para que realmente a cadeia de suprimentos atinja todo o seu potencial, é necessário que os agentes compartilhem da mesma estratégia de mentalidade, para que após a implementação e constante melhoria, possa se alcançar a estabilidade, e buscar constantes kaizens par a melhoria contínua do sistema.

O desempenho da cadeia de suprimentos está diretamente ligado com o compromisso dos agentes para a melhoria contínua, com a motivação dos agentes para constituir uma ambiente estável que possa atender as variações e bruscas oscilações de demanda, sem prejudicar o planejamento do sistema.

A primeira necessidade a ser buscada é a estabilidade do sistema como um todo, para que possa garantir o modelo básico para o cumprimento das metas determinadas. Depois de galgado este status, os agentes da cadeia de

suprimentos desenvolvida devem realizar avaliações periódicas para acompanhamento das mudanças pretendidas.

Quando se relata nos benefícios de uma integralização de agentes, não se deve esquecer da integralização dos processos internos em cada um dos agentes, que também possuem clientes e fornecedores internos. Portanto, ao se analisar, modelo, indicadores e desempenho, podem expandir para o macro, mas também não se deve negligenciar o micro-sistema também.

A simplicidade da busca de novas metodologias de se manter em todas as etapas, desde o estabelecimento de objetivos, método, avaliação e proposição de cenários e aplicações.

Existem benefícios da implementação *Lean* que vão muito além da quantificação numérica, e que podem ser expressos na satisfação do cliente e na sua fidelização. Portanto, quando se analisa os impactos nos indicadores de desempenho da cadeia de suprimentos, deve-se considerar também o valor intrínseco gerado, que vai além de reduções de custo e estoques (PICCHI, GRANJA, 2004).

A melhoria da cadeia de suprimentos deve ser um objetivo estratégico a ser alcançado, uma vez que, o gerenciamento da cadeia de suprimentos, é um reflexo de uma transformação global dos agentes em função de um ganho comum.

Por serem muitas vezes incomensuráveis, as mudanças e adoção de ferramentas para a eliminação de desperdícios, podem encontrar barreiras culturais e organizacionais que impedem a obtenção de resultados esperados.

A simulação vem com uma resposta para viabilizar a transparência das possibilidades a serem alcançadas, motivados os agentes a buscarem melhorias em seus processos e possibilitarem ganhos comuns.

7 CONCLUSÃO

Neste capítulo apresentam-se as conclusões obtidas do desenvolvimento desta pesquisa e também as recomendações para trabalhos futuros.

7.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A tese realizada teve como objetivo geral avaliar o impacto potencial da implementação dos princípios da mentalidade enxuta, a partir da modelagem matemática e simulação do comportamento dos agentes na cadeia de suprimentos.

Para a escolha dos indicadores de desempenho da cadeia de suprimentos foi realizada uma revisão bibliográfica, que resultou na escolha de quatro indicadores para a medição do desempenho dos estudos de caso.

Para a elaboração dos quatro modelos, foram realizados três estudos de caso: o primeiro estudo de caso foi realizado em uma cadeia de suprimentos de aço dobrado, o segundo estudo de caso foi realizado em uma cadeia de suprimentos de argamassa e o terceiro e último estudo de caso foi realizado em uma cadeia de suprimentos de pisos cerâmicos. Os dois primeiros estudos de caso tiveram um caráter exploratório, sem que não houvesse a possibilidade de modelagem, devido a dificuldade de coleta de dados. O último estudo contemplou a aplicação da metodologia de simulação e implementação das ferramentas.

No primeiro estudo de caso, permitiu-se a realização de experimentos de modelagem envolvendo outras variáveis e indicadores complementares. O estudo de caso na cadeia de aço dobrado permitiu evidenciar os comportamentos entre agentes, bem como, compreender o fluxo de informação envolvido, em todas as suas fases. O primeiro estudo realizado de forma exploratória permitiu calibrar os indicadores que seriam investigados no estudo de caso seguinte.

O segundo estudo de caso exploratório, na cadeia de suprimentos de argamassa, permitiu exemplificar com um caso real, a aplicação e implementação de ferramentas *Lean* em uma cadeia de suprimentos na construção civil. Neste

estudo de caso, foi possível observar os benefícios alcançados por empresas que conseguem implementar ferramentas, tais como, *kanban* e o MFV.

No terceiro estudo de caso, houve a possibilidade de aplicação da metodologia de simulação, o que garantiu a caracterização dos quatro modelos. Os modelos foram elaborados de forma genérica o que possibilita sua aplicação para outras cadeias de suprimentos também. Ao analisar os modelos e os resultados obtidos, conclui-se que:

Os modelos de simulação possibilitam o usuário observar os comportamentos dos mais variados arranjos de cadeia de suprimentos, antes mesmo de implementá-las, e por analisar o impacto das mesmas nos indicadores importantes para a estratégia da cadeia de suprimentos e do setor.

Observou-se que existe um impacto mais positivo quando se inicia a implementação de ferramentas *Lean*, pelos agentes mais a jusante da cadeia, ou seja, os agentes que tem mais proximidade com o cliente final, causando um impacto positivo maior nos indicadores de desempenho escolhidos, relativos ao tempo e estoques.

O intervalo do pedido tem um efeito positivo maior que o tempo de reposição de materiais nos indicadores escolhidos, portanto, ao se iniciar um planejamento de implementação *lean*, deve-se observar principalmente o tempo de intervalo de pedido, que expressa o fluxo de informações da cadeia de suprimentos.

O desempenho da cadeia de suprimentos deve ser periodicamente avaliado, bem como, os indicadores escolhidos para o acompanhamento. Uma vez que a estratégia da cadeia de suprimentos também é um elemento em constante evolução.

O desempenho da cadeia de suprimentos tem um papel determinante no cumprimento as metas e objetivos da empresa, e a negligência da compreensão de suas relações pode ser crucial para a existência do todo. Assim, como o

inverso é verdadeiro, uma vez que a cadeia de suprimentos conhece seus pontos fracos e pontos fortes, pode maximizar os seus benefícios.

Este estudo trouxe uma nova possibilidade de visualização da aplicação das ferramentas *Lean*, e foi possível simular o comportamento de uma cadeia de suprimentos, implementando as ferramentas principais de quatro maneiras gerais.

7.2 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DA TESE

A tese contribuiu para evidenciar a utilização da simulação para a modelagem da cadeia de suprimentos *Lean*. Entretanto, é necessário ressaltar que a simulação realizada exigiu para a modelagem, um conhecimento prévio e profundo do comportamento e relacionamentos entre os agentes. Uma vez que o *software* utilizado necessita da inserção de equações e variáveis pertinentes ao sistema, trabalhando de forma diferente de outros *softwares*, que utilizam fórmulas fechadas para a solução de modelos.

Outra contribuição observada foi a aplicação de simulação para a análise das cadeias de suprimentos *lean*. Em estudos anteriores observaram-se propostas de aplicação de ferramentas *Lean* para a cadeia de suprimentos, mas sem a análise dos impactos no desempenho da cadeia de suprimentos em si. A grande contribuição que esta tese apresenta é a combinação da simulação com a aplicação dos princípios *Lean* para a modelagem de cenários possíveis, e a avaliação de uma bem sucedida implementação *lean* na cadeia de suprimentos. A definição de indicadores *Lean* possibilitou visualizar de forma concreta, quais são os reais benefícios que podem ser alcançados, utilizando as duas teorias mencionadas (filosofia *lean thinking* e simulação).

A contribuição e desafio final desta tese está em, depois de demonstrada a possibilidade de realização desta metodologia, as cadeias de suprimentos conseguirem utilizar esta combinação de métodos (ver figura 7.1) para implementar estratégias integralizadoras entre seus agentes.

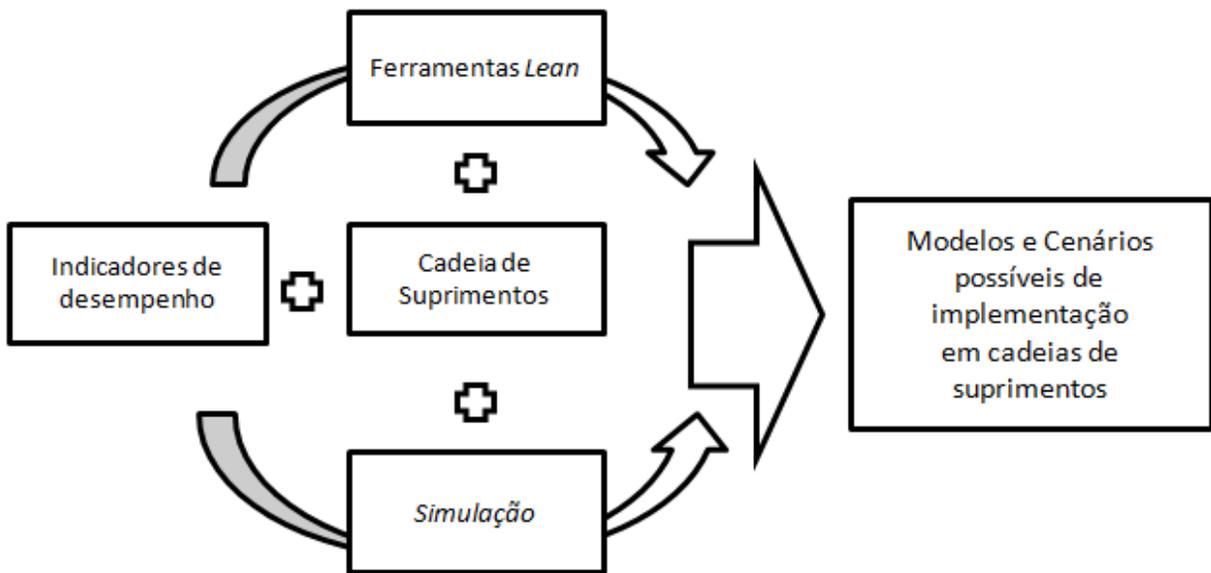


Figura 7.1 Contribuição da Tese

7.3 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Com base no estudo realizado são apresentadas as seguintes recomendações para futuros trabalhos:

- Criar um modelo que possibilite a avaliação dos quatro indicadores propostos, somados aos quatro indicadores complementares especificados nesta tese;
- A partir dos modelos criados, simular outras cadeias de suprimentos, envolvendo mais agentes, e se possível em outros setores produtivos;
- Propor um modelo para a análise dos impactos financeiros decorrentes da aplicação *Lean* entre agentes na cadeia de suprimentos, e internamente no sistema produtivo dos agentes, somado à estrutura de indicadores *Lean* para a cadeia de suprimentos descrita nesta tese.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AI-MUDIMIGH, A. S.; ZAIRI, M.; AHMED, A. M. M. Extending the concept of *supply chain*: the effective management of value chains. **International Journal of Production Economics**. Massachusetts, vol. 87, pp. 309-320, 2004. ISSN 0925-5273.
- ALVES FILHO, A.G.; CERRA, A. L.; MAIA, J.L.; NETO, M. S.; BONADIO, P. V. G. Pressupostos da gestão da cadeia de suprimentos: evidências de estudos sobre a indústria automobilística. **Revista Gestão & Produção**, vol.11, n.3, pp.275-288, set-dez. 2004.
- ALVES, T. C. L. **Buffering practices in HVAC Ductwork Supply chains**. Berkeley, CA. 2005. 286 f. Ph.D. Dissertation. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, 2005.
- ALVES, T.C.L.; TOMMELEIN, D. Cadeias de suprimentos na construção civil: análise e simulação computacional. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.7, n.2, pp 31-44, abr-jun. 2007.
- ANDERSON, D.L.; BRITT, F.F.; FAVRE, D. J. **The seven principles of supply chain management**. Disponível em: [http:// www.supplychainlink.com](http://www.supplychainlink.com). Acesso em: 19 jul. 2008.
- ARBULU, J. R.; TOMMELEIN, D. I. Value stream analysis of construction *supply chain*: case study on pipe supports used in power plants. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10, Gramado, RS. **Proceedings...**Gramado: UFRGS: IGLC, 2002.
- AZAMBUJA, M.M. B. **Processo de projeto e Instalação de elevadores em edifícios: diagnóstico e propostas de melhoria**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- AZAMBUJA, M.M.B; FORMOSO. C. T. Diretrizes para a melhoria dos processos de projeto, aquisição e instalação de elevadores utilizando conceitos da gestão da cadeia de suprimentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO, 3, 2003, São Carlos, SP. **Anais...**São Carlos: SIBRAGEC, 2003.
- BHASKARAN, S. Simulation Analysis of Manufacturing *Supply chain*. **Decision Sciences**, vol. 29, n. 3, pp. 633—657, 1998.
- BEAMON, B. M. Performance Measures in *Supply chain* Management. In: Conference on Agile and Intelligent Manufacturing Systems, New York, 1996. **Proceedings...** New York: 1996.
- BEAMON, B.M. Measuring *supply chain* performance. **International Journal of Operations & Production Management**, vol.19, n.3, pp. 275–92. 1999.

BEAMON, B. M.; CHEN, V. C. P. Performance Analysis of Conjoined *Supply chains*. *International Journal of Production Research*, vol.36, n.14, pp. 3195-3218, 2001.

BALLOU, H. R.; GILBERT, S.M.; MUKHERJEE, A. New managerial challenges from *supply chain* opportunities. *Industrial Marketing Management*, New York, vol.29, n. 1, pp. 7-18, Jan. 2000.

BALLOU, H.R. **Gerenciamento Da Cadeia De Suprimentos/ Logística Empresarial** – Tradução: Raul Rubenich. 5. edição. Porto Alegre: Bookman, 2006, 616 p.

BENSAOU, M; E. ANDERSON. Buyer-Supplier relations in Industrial Markets: When do buyers risk making Idiosyncratic Investments ? *Organization Science*, vol. 10, n. 4, pp. 460 – 481, 1999.

BERTELSEN, S. Just-in-time logistics in the supply of building materials. In: CONFERENCE ON CONSTRUCTION INDUSTRY DEVELOPMENT: BUILDING THE FUTURE TOGETHER, 1, Singapore. **Proceedings...**Singapore, 1997.

BONELLI, R.; FONSECA, R. **Indicadores de competitividade em cadeias produtivas: notas metodológicas**. Brasília, 2001. Documento elaborado no âmbito do projeto Indicadores de Competitividade em Cadeias Produtivas.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D.J.; HELFERICH, O. K. **Logistical management**. New York : Macmillan, 586 p., 1986.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D.; **Logística Empresarial: O processo de integração da cadeia de suprimento** . São Paulo : Atlas, 593 p., 2001.

BOWERSOX, D.J.; CLOSS D.J.; COOPER M.B. **Supply chain Logistics Management**. 2nd edition, McGraw-Hill/Irwin, NY, 410 pp. 2007.

CAPLICE, C.; YOSSI, S. A Review and Evaluation of Logistics Performance Measurement Systems. *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 6, N. 1, pp. 61-74, 1995.

CAVANHA FILHO, A.O. **Logística: novos modelos** – Rio de Janeiro: Qualitymark. Ed. 2001, 180p.

CHILDERHOUSE, P.; HONG-MINH, S. M.; NAIM, M. M. House building *supply chain* strategies: selecting the right strategy to meet customers requirements. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN* CONSTRUCTION, 8., Brighton, UK, 2000. **Proceedings...**Brighton: IGLC, 2000.

CHING, H. Y. **Gestão de estoques na cadeia logística integrada**. São Paulo: Atlas, 1999.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. – **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operações**. Tradução de Claudia Freire. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos** – tradução: Claudia Freire; São Paulo: Prentice Hall, 2003.

CHOW, G.; HEAVER, T. D.; HENRIKSSON, L. E. Logistics performance: definition and measurement. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, BradFord, v. 24, n. 1, p. 17-28, 1994.

CHRISTOPHER, M. **Logistics and Supply chain Management - Strategies for Reducing Cost and Improving Service**. 2. ed. 1998. London: Prentice Hall.

CLM - COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT. **World Class Logistics: the Challenge of Managing Continuous Change**, CLM Oak Brook, 1995.

CLM - **COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT**. Disponível em: <www.clml.org>. Acesso em 01 de novembro de 2007.

COOPER, M. C.; LAMBERT, D. M.; PAGH, J. D. *Supply chain management: more than a new name for logistic*. **The International Journal of Logistics Management**. Flórida, vol. 8, n. 1, pp. 1-14, 1997.

COOPER, R.; SLAGMULDER, R. **Supply chain Development for Lean Enterprise: interorganizational cost management**. 1. ed. Portland, Oregon: Productivity, 1999.

COPACINO, W.C. **Supply chain Management – The Basic and Beyond**. CRC Press LLC, Corporate Blvd. N.W. 1997.

CRUTCHER, C. A.; WALSH, K. D.; HERSHAUSER, J. C.; TOMMELEIN, I. D. Effects of a preferred vendor relationship on na eletrical component supplier and eletrical component supplier and eletrical contractor: a case study. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN CONSTRUCTION*, 9, Singapure, CH, 2001. **Proceedings...** Singapure: IGLC, 2001.

DALL'AGNOL, W.J. **Aplicação desimulação computacional na avaliação de desempenho da cadeia produtiva atvaés da colaboração e melhorias dos processos logísticos**. Curitiba, PR, 164f. Dissertação de mestrado em engenharia da produção e sistemas. PUC-PR, Curitiba, PR, 2005.

DONG, M. **Process Modeling, Performance Analysis and Configuration Simulation in Integrated Supply chain Network Design**. Doctoral dissertation, Department of Industrial and Systems Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia. 2001.

DURSKI, G.R. Avaliação do desempenho em cadeias de suprimentos. **Revista FAE**, Curitiba, v.6, n.1, p.27-38, jan./abr, 2003.

EMMERSON, C.J.; GRIMM, C.M. Logistics and *marketing* components of customer service: an empirical test of the Mentzer, Gomes and Krapfel model. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management** , v.26, n.8, p. 29-42, 1996.

FLEURY, P.F.; LAVALLE, C. Avaliação do serviço de distribuição física: a relação entre a indústria de bens de consumo e o comércio atacadista e agente. In: **Logística Empresarial, a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, p.76-89, 2000.

FONTANINI, P. S. P.; PICCHI, F. A. Mentalidade enxuta na cadeia de fornecedores da construção civil: aplicação de macro mapeamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO, 3, 2003, São Carlos, SP. **Anais...**São Carlos: SIBRAGEC, 2003.

FONTANINI, P.S.P.;PICCHI, F.A. Value Stream Macro Mapping a case study of aluminum windows for construction *supply chain*. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN*, 12th, Elsinore,2004. **Proceedings...** Elsinore, 2004.

FONTANINI, P. S. P. **Mentalidade Enxuta no fluxo de suprimentos da construção civil - Aplicação de macro mapeamento na cadeia de fornecedores de esquadrias de alumínio**. Campinas, São Paulo, 2004. 259 f. Dissertação - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

FORRESTER, J. W. **Industrial Dynamics**. 1st ed. Cambridge, Massachusetts: The M.I.T Press, 1961.

FRAZELLE, E. **Supply chain Strategy: the logistics of Supply chain Management**. McGraw-Hill, 357p., 2001.

GUNASEKARAN, A., PATEL, C., TIRTIROGLU, E. Performance measures and metrics in a *supply chain* environment. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol. 21 N. 1/2, pp. 71-87, 2001,

GASPARETTO, V. **Proposta de uma sistemática para avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – UFSC, Florianópolis, 2004.

GOLDSBY, T.; MARTICHENKO,R. **Lean Six Sigma Logistics**. Florida,2005. ISBN 1-932159-36-3.

GOURDIN, K.N. **Global logistics management: a competitive advantage for the 21st century**. 2. Ed. Blackwell Publishers, Malden, MA, 318 pp. 2006.

HAMMER, Michel, CHAMPY, James. **Reengenharia: Revolucionando a Empresa**. 26ª Ed, Campus, Rio de Janeiro,1994.

GUNASEKARAN, A.; PATEL, C., TIRTIROGLU, E. Performance measures and metrics in a *supply chain* environment. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol. 21 N. 1/2, pp. 71-87, 2001.

HIIJAR, M.F.; GERVÁSIO, M. H.; FIGUEIREDO, K. F. **Mensuração de desempenho logístico e o modelo World Class Logistics**. Centro de Estudos em Logística. Disponível em:

< http://www.ilos.com.br/site/index.php?option=com_content&task=view&id=1112&Itemid=74>. Acesso em 17 de junho 2007.

HOLMBERG, S. A systems perspective on *supply chain* measurements. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, BradFord, vol. 30, n. 10, pp. 847-868, 2000.

HOLZEMER, M.; TOMMELEIN, I.; LIN, S. Materials and information flows for HVAC ductwork fabrication and site installation. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN CONSTRUCTION*, 8, 2000, Brighton, UK. **Proceedings...** Brighton, UK: IGLC, 2000.

ISATTO, E. L. **Proposição de um modelo teórico-descritivo para a coordenação inter-organizacional de cadeias de suprimentos de empreendimentos de construção**. 2005. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

JOBIM, M. S. S.; JOBIM FILHO, H. Proposta de integração das cadeias de suprimentos da indústria da construção civil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO, 2, Fortaleza, CE, 2001. **Anais...** Fortaleza: SIBRAGEC, 2001.

KAGIOGLOU, M.; COOPER, R.; AOUAD, G. Performance management in construction: a conceptual framework, **Construction Management and Economics**, vol.19, n.1, pp.85 – 95, 2001.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. StanFord University, CIFE Technical Report # 72, 1992. 87 p.

LAMBERT, D.M; STOCK, J.R. **Strategic Logistics Management**. Homewood, 862p., 1993.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C.; PAGH, J. D. *Supply chain* management: implementation issues and research opportunities. **The International Journal of Logistics Management**. Flórida, v. 9, n. 8, p. 1-19, 1998.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C. Issues in *supply chain* management, **The International Journal of Logistics Management**. Flórida, v. 29, p. 65-83, 2000.

LAMBERT, D.M., POHLEN, T.L. *Supply chain* Metrics, **The International Journal of Logistics Management**. Vol. 12, N., 1, 2001.

LAW, A.M.; MCCOMAS, M.G. Simulation of manufacturing systems. In: Winter Simulation Conference, Washington, 1998. **Proceedings...** Washington, 1998.

LAW, A.M.; W.D. KELTON. **Simulation Modeling and Analysis**, New York: McGraw-Hill, 2000.

LAW, A.M. How to build valid and credible simulation model. In: Winter Simulation Conference. **Proceedings...** 2005

LEAN INSTITUTE BRASIL (LIB). **Léxico Lean**. Glossário ilustrado para praticantes do pensamento *Lean*. Tradução de *Lean* Institute Brasil. São Paulo: *Lean* Institute Brasil, 2003

LEE, H.L., BILLINGTON, C. **Managing supply chain inventory: pitfalls and opportunities**, Sloan Management Review, pp.65-73, 1992.

LEE, H. L. Creating Value Through *Supply chain* Integration, **Supply chain Management Review**, Vol. 4, n.4, pp. 30-40. 2000,

LIKER, J. K. **The Toyota Way. 14 Management principles from the world's greatest manufacturer.** 1 ed. USA: McGraw-Hill, 2004. 330 p.

LIMA JÚNIOR, O. F. . O uso das ferramentas de simulação no ensino de logística e transportes. In: XIII ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 1999, São Carlos. **Anais...** ANPET, São Carlos, SP, 1999. v. 1. p. 226-238.

LIMA , M.P. **Estoque : custo de oportunidade e impacto sobre os indicadores financeiros** . Disponível em www.cel.coppead.ufrj.br , 2008.

LIMA, J. C. S. **Um Estudo sobre a reconfiguração da função compras em empresas do setor automotivo.** 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LONDON, K. A.; KENLEY, R. An industrial organization economic *supply chain* approach for the construction industry: a review. **Construction Management and Economics**, v. 19, p. 777-788, 2001.

LUMMUS, R.R., VOKURKA, R. J. Defining *supply chain* management: a historical perspective and practical guidelines. **Industrial management & Data Systems**, 99/ 1, 1999.

LUMMUS, R. R.; VOKURKA, R. J.; ALBER, K. L. Strategic *supply chain* planning. **Production and Inventory Management Journal**. vol. 39, n. 3, pp. 49-58, 1998.

MARTINEZ, J. C. **STROBOSCOPE: State and Resource Based Simulation of Construction Processes.** 1996. 518 f. Ph.D. Dissertation - Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, 1996.

MCHUG, M; HUMPHREYS, P; MCLVOR, R. Buyer-supplier relationships and organizational health. **The Journal of Supply chain Management**, vol. 39, n. 2, pp. 15-25, 2003.

MONDEN, Y. Sistema **Toyota de Produção**. Tradução por Antonia V. P. Costa et al.; Supervisão de Reinaldo A. Moura e Akio Umeda. São Paulo: IMAN, 1984.

O'BRIEN, W. Construction *Supply chain*: case study, integrated cost and performance analysis. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 3, Albuquerque, 1995. **Proceedings...**Albuquerque: IGLC,1995.

O'BRIEN, W. Construction Supply-Chain Management: A vision for Advanced Coordination, Costing, and Control. In: NSF Berkeley-StanFord Construction Research Workshop, StanFord, California, 1999. **Proceedings...**StanFord, California. August, 1999.

O'BRIEN, W. et al. Construction *Supply chain* Modeling: a research review and interdisciplinary research agenda. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN, 10th, Gramado, BR, 2002. **Proceedings...**Gramado, BR, Aug 06-08, 2002.

- OHNO, T. **Just-in-time for Today and Tomorrow**. Tradução por Joseph P. Schmelzeis, Productivity Press, 1988.
- OLIVEIRA, C.M.; CARVALHO, M.F.H. A. Análise de políticas de gestão em cadeias de suprimentos por modelos de simulação. **Revista Gestão & Produção**, vol.11, n.3, São Carlos, Sept.- Dec. 2004, ISSN 0104-530X.
- PERSSON, F. OLHAGER, J. Performance simulation of *supply chain* designs. **International journal of production economics**. Vol. 77, pp. 231-245, 2002.
- PICCHI, F. A. Oportunidades da aplicação do *Lean Thinking* na construção. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol. 3, n. 1, pp. 7-23, jan./mar. 2003.
- PICCHI, F.A.; GRANJA, A. D. Construction Sites: Using *Lean* principles to seek broader implementations. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN* CONSTRUCTION , 12, 2004, Elsinore, Denmark. **Proceedings...** Elsinore: IGLC, 2004.
- POLAT, G.; BALLARD, G. Construction *Supply chains*: Turkish Supply-Chain Configurations for Cut and Bent Rebar. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN* CONSTRUCTION, 11., Blacksburg, VA , USA, 2003. **Proceedings...**Blacksburg: IGLC, 2003
- REIS, T. dos. **Aplicação da Mentalidade Enxuta no fluxo de negócios da construção civil a partir do mapeamento do fluxo de valor**. Campinas, São Paulo, 2004. 125 f. Dissertação - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.
- REMKO, V.H. Measuring the unmeasurable – measuring and improving performance in the *supply chain* - **Supply chain Management**, Vol. 3, N.4, pp. 187–192, 1998,ISSN 1359-8546.
- ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. 1 ed. São Paulo: *Lean* Institute Brasil, 1999.
- ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando o fluxo contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. 1 ed. São Paulo: *Lean* Institute Brasil, 2002.
- SALERNO, M. S. et al. **Mapeamento da nova configuração da cadeia automotiva brasileira**. Disponível em: <http://www.poli.usp.br/pro/cadeia-automotiva2002> Acesso em: 10 out. 2008.
- SCHONBERGER, R. J. **Técnicas Industriais Japonesas: nove lições ocultas sobre simplicidade**. Tradução de Oswaldo Chiquetto. Coleção Novos Ubrais. São Paulo: Pioneira, 1984.
- SCC – *Supply chain* Council. **SCOR Implementation**. Disponível em <https://www.supply-chain.org/>. Acesso em 01 de outubro de 2008.

SERRA, S.M.B.; FRANCO, L. S. Diretrizes para gestão dos subempreiteiros. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, Departamento de Engenharia da Construção Civil; BT/PCC/295, 2001. ISSN 0103-9830.

SERRA, S.M.B. **Diretrizes para gestão dos subempreiteiros**. 2001. 360f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SHIMIZU, J. Y.; CARDOSO, F.F. **Subcontracting and Cooperation Network in Building Construction: a Literature Review**. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN* CONSTRUCTION, 10., Gramado, BR, 2002. Proceedings...Gramado: IGLC, 2002.

SIMCHI-LEVI D.; KAMINSKY P.; SIMCHI-LEVI E. **Designing and Managing the Supply chain**, 2nd Edition, McGraw-Hill Irwin, 354 pp. 2003.

SMALLEY, A. **Criando o sistema puxado nivelado**. Tradução Paulo Guinatto. São Paulo: *Lean* Institute Brasil, 2004.

SMOOK. R; MELLES. M; E WELLING, D. Co-ordenating the *supply chain* – Diffusing *Lean* production in construction. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN* CONSTRUCTION, 4., Birmingham, UK, 1996. **Proceedings...**Birmingham: IGLC,1996.

STAINER, A. Logistics - a productivity and performance perspective. **Supply chain Management**, vol.2, n.2, p. 53-62, 1997.

STERMAN, J. D. System Dynamics Modeling: Tools for learning in a complex world. **California Management Review**. Vol. 43, No. 4, 2001, pp. 8-25.

STEVENS, J. Integrating the *supply chain*. **International Journal of Physical Distribution and Materials Management**, Vol. 19 N.8, 1989, pp.3-8.

SUZAKI, K. **The new manufacturing challenge: techniques for continuous improvement**. New York: The Free Pres, 1987.

SZAJUBOK, N. K.; ALENCAR, L.H.; ALMEIDA, A.T. **Modelo de gerenciamento de materiais na construção civil utilizando avaliação multicritério**. v.16 n.2 São Paulo. 2006. ISSN 0103-6513.

TAYLOR, J.; BJÖRNSSON, H. (2002) Identification and classification of value drivers for a new production homebuilding *supply chain*. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN* CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, Brasil. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.

TEIXEIRA, F. **Fatores Empresariais de competitividade na cadeia de suprimentos do setor de petróleo**. Seminário sobre política industrial no setor petróleo e gás – IE/UFRJ - Núcleo de Pós-Graduação em Administração/UFBA, 1992.

- TOMMELEIN, I. ; WEISSENBERGER, M. More just-in-time: location of buffers in structural steel supply and construction processes. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN CONSTRUCTION*, 7, 1999, Berkeley, CA. **Proceedings...** Berkeley, CA: IGLC, 1999.
- TOMMELEIN, I.; LI, A.E.Y. Just-in-time concrete delivery: mapping alternatives for vertical *supply chain* integration. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN CONSTRUCTION*, 7, 1999, Berkeley, CA. **Proceedings...** Berkeley, CA: IGLC, 1999.
- TOMMELEIN, I. ; WEISSENBERGER, M. More just-in-time: location of buffers in structural steel supply and construction processes. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN CONSTRUCTION*, 7, 1999, Berkeley, CA. **Proceedings...** Berkeley, CA: IGLC, 1999.
- TOWILL, D. R.; CHILDERHOUSE, P.; DISNEY, S. M. Integrating the automotive *supply chain*: where are we now? **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**. vol. 32, n.2, 2002. pp 79-95.
- TOWILL, D.R. The seamless *supply chain* - the predators advantage. **International Journal of the Technology of Management**, 1996.
- TRIENEKENS, J. **Management of Processes in chains: a research framework**. 1999. 173 f. Thesis. Wageningen University, Holland.
- VENKATESWARAN. J; SON. Y.J. Impact of modelling approximations in *supply chain* analysis - an experimental Study **International Journal of Production Research**. vol. 42, n. 15, pp.2971–2992, 2004.
- VRIJHOEF, R. **Co-makship in Construction : Towards Construction Supply chain Management**.1998. Dissertation (Master of Engineering) Technical Research Center of Filand, Espoo, Filand:, 1998.
- VRIJHOEF, R.; KOSKELA, L. The four roles of *supply chain* management in construction. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, vol. 6, n. 3-4, pp.169-178, 2000.
- VRIJHOEF, R. et al. Understanding Construction *Supply chains*: na alternative Interpretation. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR *LEAN CONSTRUCTION*, 9th, , Singapura, CH, 2001.**Proceedings...**Singapura: IGLC, 2001.
- WALSH, K. D., J. C. HERSHAUER, et al. Strategic positioning of inventory to match demand in a capital projects *supply chain*. **Journal of Construction Engineering and Management-Asce**, vol.130, n. 6, pp. 818-826, 2004.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992. 347p.
- WOMACK, J. P.; JONES D. T. **A Mentalidade Enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Tradução de Ana Beatriz Rodrigues e Priscila Martins Celeste. 5. ed. Rio de Janeiro: campus, 1996.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **Enxergando o Todo – Mapeando o Fluxo Estendido**. Tradução Paulo Lima e Cleber Favaro. São Paulo: *Lean Institute* Brasil, 2004.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 212p.

APÊNDICES

**APÊNDICE I: ROTEIRO PARA ENTREVISTA
SEMI-ESTRUTURADA COM OS AGENTES**

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
DEMANDA NA PONTA DA CADEIA (CLIENTE FINAL)**

QUEM SÃO OS CLIENTES FINAIS DA LOJA?

DADOS PARA MODELAR A CURVA DE DEMANDA

QUAIS SÃO OS MESES DE MAIOR PROCURA DO MATERIAL?

**DURANTE UM MÊS (GENÉRICO), QUAIS SÃO OS DIAS DE MAIOR
PROCURA DE MATERIAL?**

**DURANTE A SEMANA, QUAIS SÃO OS DIAS DE MAIOR PROCURA DE
MATERIAL?**

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
LOJA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**

VENDAS PARA OS CLIENTES FINAIS

**EXISTE UM CONTROLE DAS VENDAS PARA OS CLIENTES FINAIS,
DOS ÚLTIMOS 6 MESES? (GRÁFICOS, REGISTROS, TABELAS)**

QUAL O VOLUME MÉDIO DIÁRIO VENDIDO PELA LOJA?

**QUAL O TEMPO DE ENTREGA DO MATERIAL PARA O CLIENTE, CASO
TENHA EM ESTOQUE DISPONÍVEL?**

**QUAL O TEMPO DE ENTREGA DO MATERIAL PARA O CLIENTE, CASO
NÃO TENHA EM ESTOQUE DISPONÍVEL?**

**A LOJA CONTROLA O NÍVEL DE SERVIÇO DE ATENDIMENTO AO
CLIENTE? COMO?**

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
LOJA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**

A LOJA TEM ENTREGAS FORA DE PRAZO?

QUAL A PORCENTAGEM DE ENTREGAS FORA DE PRAZO?

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
LOJA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**

ESTOQUE DA LOJA

QUAL O ESTOQUE DA LOJA (SACOS OU KILOS)?

A LOJA TEM ESTOQUE DE SEGURANÇA?

ONDE O ESTOQUE DA LOJA FICA ARMAZENADO?

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO**

ESTOQUES

QUAL O ESTOQUE ATUAL DO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO ?

O CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO TEM UM ESTOQUE DE SEGURANÇA?

O CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO TEM UM CONTROLE DE NÍVEL DE SERVIÇO?

O CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO CONTROLA AS ANTREGAS FORA DE ESPECIFICAÇÃO?

A ARMAZENAGEM TEM PERDAS DE MATERIAIS? EM PORCENTAGEM QUANTO REPRESENTAM?

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO**

FLUXO DE INFORMAÇÃO DO PEDIDO

COMO O CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO REALIZA AS COMPRAS DE MATERIAL COM A FÁBRICA?

QUEM É O RESPONSÁVEL PELA COLOCAÇÃO DOS PEDIDOS DE COMPRAS DE MATERIAIS?

COMO O DEPARTAMENTO COLOCA PEDIDOS DE COMPRA PARA A FÁBRICA?

QUAL O TEMPO DE ESPERA ENTRE A COLOCAÇÃO DE UM PEDIDO E O RECEBIMENTO EFETIVO DESTE MATERIAL NO SITE?

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO**

ENTREGAS DE MATERIAIS

EXISTE ATRASO NAS ENTREGAS DA FÁBRICA? QUAL O TEMPO MÉDIO DE ATRASOS?

COMO CHEGAM AS ENTREGAS DA FÁBRICA?

QUAL O TAMANHO DO LOTE DE ENTREGA DA FÁBRICA ?

EXISTE UM HISTÓRICO DE ACOMPANHAMENTO DO COMPORTAMENTO DO FLUXO DE INFORMAÇÃO E TAMANHOS DE LOTE?

ONDE O MATERIAL FICA ESTOCADO?

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO**

TRANSPORTE DOS MATERIAIS

COMO É REALIZADO O TRANSPORTE PARA A LOJA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO?

QUAL O TEMPO DE EMBARQUE DO MATERIALS NOS CAMINHÕES?

QUAL O TEMPO DE DESEMBARQUE DOS CAMINHÕES?

EXISTE UMA PERIODICIDADE DE ENTREGA?

ATUALMENTE EXISTE ALGUM PEDIDO EM TRANSPORTE?

EM, CASO POSITIVO, QUAL SERIA QUANTIDADE PEDIDA, DATA, E PROVAVEL DATA DE ENTREGA DO MATERIAL NA LOJA.

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO**

PERFIL DE DEMANDA DA LOJA

COMO É O PERFIL DE COMPRA DA ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA PELA LOJA DE MATERIAIS?

QUAIS OS MESES DE MAIOR DEMANDA DA LOJA?

QUAIS OS DIAS NO MÊS DE MAIOR DEMANDA DA LOJA ?

QUAL SERIA O VALOR DE UM VOLUME MÉDIO DE COMPRA DE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA PELA LOJA ?

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
FÁBRICA**

ESTOQUES

A FÁBRICA TEM, ATUALMENTE:

----- **ESTOQUE DE MATERIAL PRIMA**

----- **ESTOQUE EM PROCESSO**

----- **ESTOQUE DE PRODUTO ACABADO**

A FÁBRICA POSSUE ESTOQUE DE SEGURANÇA?

QUAL A PRODUÇÃO DIÁRIA?

QUAL O ESTOQUE ATUAL DA FÁBRICA?

A FÁBRICA TEM UM ESTOQUE DE SEGURANÇA?

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
FABRICA**

A FÁBRICA TEM UM CONTROLE DE NÍVEL DE SERVIÇO?

**O CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO CONTROLA AS ENTREGAS FORA DE
ESPECIFICAÇÃO?**

**A ARMAZENAGEM TEM PERDAS DE MATERIAIS? EM PORCENTAGEM
QUANTO REPRESENTAM?**

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
FÁBRICA**

FLUXO DE INFORMAÇÃO DE PEDIDO

COMO A FÁBRICA REALIZA AS COMPRAS DE MATERIAL COM A FÁBRICA?

QUEM É O RESPONSÁVEL PELA COLOCAÇÃO DOS PEDIDOS DE COMPRAS DE MATERIAIS?

COMO SE COLOCA OS PEDIDOS DE COMPRA PARA A FÁBRICA?

QUAL O TEMPO DE ESPERA ENTRE A COLOCAÇÃO DE UM PEDIDO E O RECEBIMENTO EFETIVO DESTE MATERIAL NO SITE?

EXISTE ATRASO NESTAS ENTREGAS? QUANTO TEMPO?

COMO CHEGAM AS ENTREGAS?

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
FÁBRICA**

ENTREGAS PARA O CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

QUAL O TAMANHO DO LOTE DE ENTREGA PARA O CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO?

EXISTE UM HISTÓRICO DE ACOMPANHAMENTO DO COMPORTAMENTO DO FLUXO DE INFORMAÇÃO E TAMANHOS DE LOTE PARA O CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO?

COMO É REALIZADO O TRANSPORTE DA FÁBRICA PARA O CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO?

QUAL O TEMPO DE EMBARQUE DO MATERIALS NOS CAMINHÕES PARA ABASTECIMENTO DO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO?

QUAL O TEMPO DE DESEMBARQUE DOS CAMINHÕES NO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO?

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
FÁBRICA**

**EXISTE UMA PERIODICIDADE DE ENTREGA PARA O CENTRO DE
DISTRIBUIÇÃO?**

**ATUALMENTE, EXISTE ALGUM PEDIDO EM TRANSPORTE PARA O
CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO?**

**EM CASO POSITIVO, QUAL SERIA A QUANTIDADE PEDIDA, DATA, E
PROVAVEL DATA DE ENTREGA DO MATERIAL NA LOJA.**

**ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO
FÁBRICA**

PERFIL DE DEMANDA DO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

COMO É O PERFIL DE COMPRA DOS MATERIAIS PELO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO?

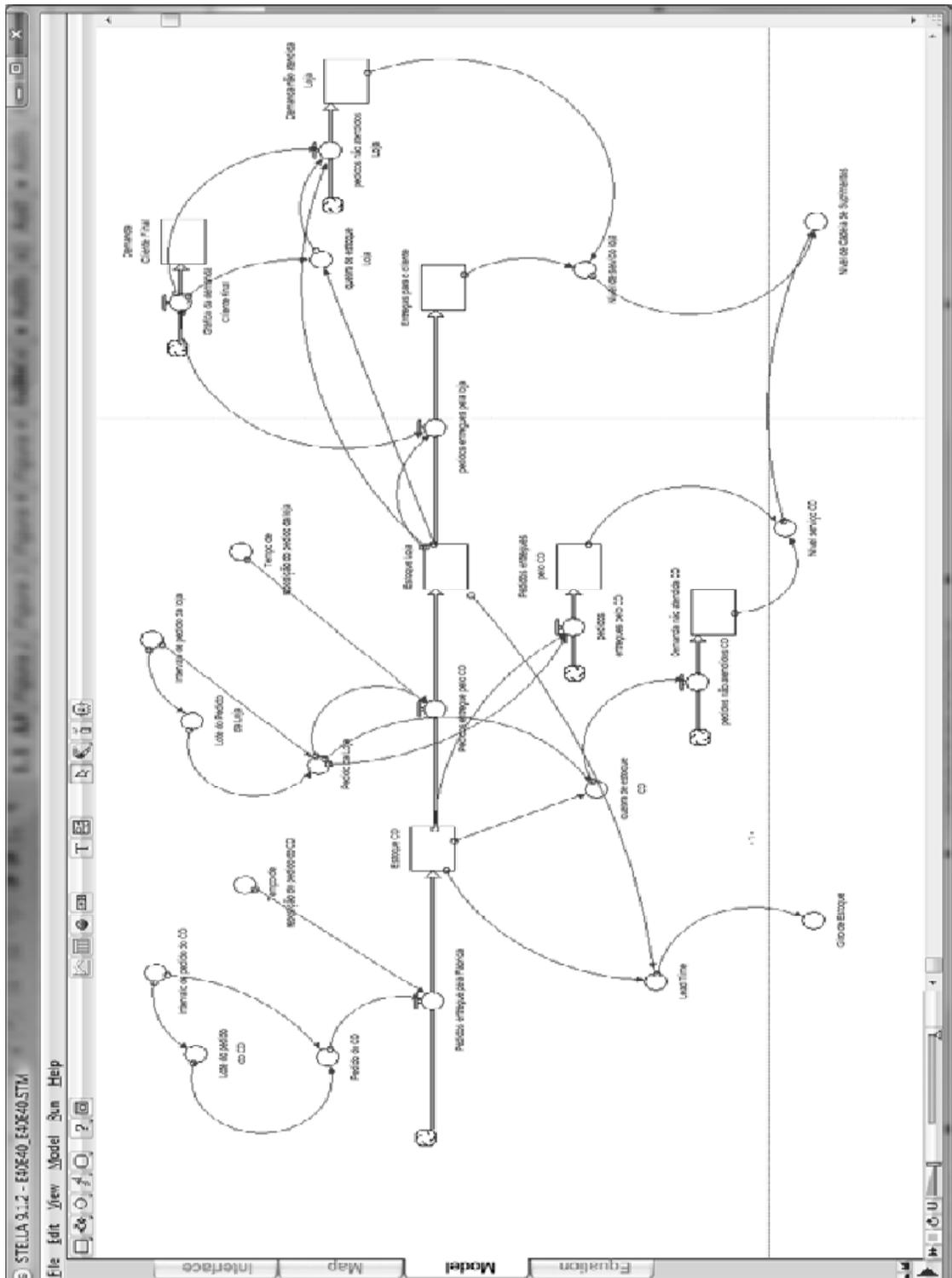
QUAIS OS MESES DE MAIOR DEMANDA DO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO?

QUAIS OS DIAS NO MÊS DE MAIOR DEMANDA DO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO?

QUAL SERIA O VALOR DE UM VOLUME MÉDIO DE COMPRA PELO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO?

APÊNDICE II : MODELOS NO STELLA

MODELO # 1 (EE - EE)



{ VERSION 9.1.2 }

{ INITIALIZATION EQUATIONS }

: s Estoque_Loja = 750*7

: f Grafico_da_demanda_Cliente_final = GRAPH(TIME)

(0, 755), (1.00558659218, 730), (2.01117318436, 710), (3.01675977654, 895), (4.02234636872, 720), (5.02793296089, 905), (6.03351955307, 710), (7.03910614525, 895), (8.04469273743, 675), (9.05027932961, 905), (10.0558659218, 695), (11.061452514, 780), (12.0670391061, 820), (13.0726256983, 590), (14.0782122905, 825), (15.0837988827, 580), (16.0893854749, 830), (17.094972067, 585), (18.1005586592, 830), (19.1061452514, 585), (20.1117318436, 830), (21.1173184358, 830), (22.1229050279, 830), (23.1284916201, 975), (24.1340782123, 830), (25.1396648045, 620), (26.1452513966, 830), (27.1508379888, 830), (28.156424581, 590), (29.1620111732, 830), (30.1675977654, 830), (31.1731843575, 980), (32.1787709497, 830), (33.1843575419, 830), (34.1899441341, 645), (35.1955307263, 645), (36.2011173184, 405), (37.2067039106, 645), (38.2122905028, 645), (39.217877095, 815), (40.2234636872, 640), (41.2290502793, 860), (42.2346368715, 640), (43.2402234637, 875), (44.2458100559, 640), (45.251396648, 640), (46.2569832402, 640), (47.2625698324, 425), (48.2681564246, 640), (49.2737430168, 960), (50.2793296089, 640), (51.2849162011, 640), (52.2905027933, 645), (53.2960893855, 885), (54.3016759777, 685), (55.3072625698, 735), (56.312849162, 895), (57.3184357542, 775), (58.3240223464, 930), (59.3296089385, 790), (60.3351955307, 790), (61.3407821229, 955), (62.3463687151, 790), (63.3519553073, 790), (64.3575418994, 890), (65.3631284916, 790), (66.3687150838, 940), (67.374301676, 790), (68.3798882682, 790), (69.3854748603, 790), (70.3910614525, 680), (71.3966480447, 790), (72.4022346369, 790), (73.4078212291, 480), (74.4134078212, 455), (75.4189944134, 590), (76.4245810056, 790), (77.4301675978, 790), (78.4357541899, 790), (79.4413407821, 460), (80.4469273743, 790), (81.4525139665, 790), (82.4581005587, 550), (83.4636871508, 790), (84.469273743, 790), (85.4748603352, 885), (86.4804469274, 660), (87.4860335196, 790), (88.4916201117, 915), (89.4972067039, 675), (90.5027932961, 790), (91.5083798883, 900), (92.5139664804, 890), (93.5195530726, 485), (94.5251396648, 790), (95.530726257, 785), (96.5363128492, 915), (97.5418994413, 905), (98.5474860335, 725), (99.5530726257, 710), (100.558659218, 375), (101.56424581, 685), (102.569832402, 360), (103.575418994, 670), (104.581005587, 670), (105.586592179, 670), (106.592178771, 900), (107.597765363, 670), (108.603351955, 670), (109.608938547, 880), (110.61452514, 670), (111.620111732, 860), (112.625698324, 670), (113.631284916, 665), (114.636871508, 920), (115.642458101, 665), (116.648044693, 990), (117.653631285, 665), (118.659217877, 660), (119.664804469, 920), (120.670391061, 855), (121.675977654, 670), (122.681564246, 675), (123.687150838, 685),

```

(124.69273743, 690), (125.698324022, 895), (126.703910615, 715),
(127.709497207, 730), (128.715083799, 895), (129.720670391, 745),
(130.726256983, 745), (131.731843575, 745), (132.737430168, 790),
(133.74301676, 800), (134.748603352, 815), (135.754189944, 840),
(136.759776536, 975), (137.765363128, 985), (138.770949721, 865),
(139.776536313, 945), (140.782122905, 880), (141.787709497, 990),
(142.793296089, 955), (143.798882682, 895), (144.804469274, 895),
(145.810055866, 600), (146.815642458, 780), (147.82122905, 895),
(148.826815642, 475), (149.832402235, 895), (150.837988827, 895),
(151.843575419, 505), (152.849162011, 895), (153.854748603, 495),
(154.860335196, 500), (155.865921788, 895), (156.87150838, 895),
(157.877094972, 895), (158.882681564, 895), (159.888268156, 895),
(160.893854749, 875), (161.899441341, 605), (162.905027933, 855),
(163.910614525, 835), (164.916201117, 555), (165.921787709, 520),
(166.927374302, 790), (167.932960894, 525), (168.938547486, 775),
(169.944134078, 500), (170.94972067, 755), (171.955307263, 980),
(172.960893855, 740), (173.966480447, 865), (174.972067039, 525),
(175.977653631, 710), (176.983240223, 850), (177.988826816, 470),
(178.994413408, 455), (180, 870)
: c Intervalo_de_pedido_da_loja = 40
: c Lote_do_Pedido_da_Loja = Intervalo_de_pedido_da_loja* 750
: c Pedido_da_Loja =
PULSE(Lote_do_Pedido_da_Loja,Intervalo_de_pedido_da_loja,Intervalo_de_pedido_da_loja)
: c Tempo_de__reposi  <o_do_pedido_da_loja = 20
: c Intervalo_de_pedido_do_CD = 40
: c Lote_do_pedido__do_CD = Intervalo_de_pedido_do_CD* 750
: c Pedido_do_CD =
PULSE(Lote_do_pedido__do_CD,Intervalo_de_pedido_do_CD,Intervalo_de_pedido_do_CD)
: c Tempo_de__reposi  <o_do_pedido_do_CD = 20
: f Pedidos_entregue_pela_Fabrica =
delay(Pedido_do_CD,Tempo_de__reposi  <o_do_pedido_do_CD,0)
: f Pedidos_entregue_pelo_CD = delay (Pedido_da_Loja,
Tempo_de__reposi  <o_do_pedido_da_loja,0)
: f pedidos_entregues_pela_loja = if
Estoque_Loja>= Grafico_da_demanda_Cliente_final then
Grafico_da_demanda_Cliente_final else Estoque_Loja
: s Demanda_Cliente_Final = 0
: s Pedidos_entregues_pelo_CD = 0
: s Demanda_n<o_atendida_CD = 1
: c Nivel_servi  o_CD =
Pedidos_entregues_pelo_CD/(Pedidos_entregues_pelo_CD+ Demanda_n<o_atendida_CD)
: s Entregas_para_o_cliente = 1
: s Demanda_n<o_atendida_Loja = 1

```

```

: c quebra_de_estoque_Loja = if
Estoque_Loja < Grafico_da_demanda_Cliente_final then 1 else 0
: c Nivel_de_servico_loja =
Entregas_para_o_cliente / (Demanda_n_o_atendida_Loja + Entregas_para_o_cliente)
: f pedidos_n_o_atendidos_Loja =
quebra_de_estoque_Loja * (Grafico_da_demanda_Cliente_final - Estoque_Loja)
: s Estoque_CD = 750 * 30
: c Lead_Time = (Estoque_CD + Estoque_Loja) / 750
: c quebra_de_estoque_CD = if Estoque_CD < Pedido_da_Loja then 1 else 0
: f pedidos_n_o_atendidos_CD = quebra_de_estoque_CD
: f pedidos_entregues_pelo_CD = if Estoque_CD >= Pedido_da_Loja then
Pedido_da_Loja else Estoque_CD
: c Nivel_de_Cadeia_de_Suprimentos =
Nivel_de_servico_loja * Nivel_servico_CD
: c Giro_de_Estoque = 365 / Lead_Time

```

```
{ RUNTIME EQUATIONS }
```

```

: s Estoque_Loja(t) = Estoque_Loja(t - dt) + (Pedidos_entregues_pelo_CD -
pedidos_entregues_pela_loja) * dt
: s Demanda_Cliente_Final(t) = Demanda_Cliente_Final(t - dt) +
(Grafico_da_demanda_Cliente_final) * dt
: s Pedidos_entregues_pelo_CD(t) = Pedidos_entregues_pelo_CD(t - dt) +
(pedidos_entregues_pelo_CD) * dt
: s Demanda_n_o_atendida_CD(t) = Demanda_n_o_atendida_CD(t - dt) +
(pedidos_n_o_atendidos_CD) * dt
: s Entregas_para_o_cliente(t) = Entregas_para_o_cliente(t - dt) +
(pedidos_entregues_pela_loja) * dt
: s Demanda_n_o_atendida_Loja(t) = Demanda_n_o_atendida_Loja(t - dt) +
(pedidos_n_o_atendidos_Loja) * dt
: s Estoque_CD(t) = Estoque_CD(t - dt) + (Pedidos_entregues_pela_Fabrica -
Pedidos_entregues_pelo_CD) * dt
: f Grafico_da_demanda_Cliente_final = GRAPH(TIME)
(0, 755), (1.00558659218, 730), (2.01117318436, 710), (3.01675977654,
895), (4.02234636872, 720), (5.02793296089, 905), (6.03351955307, 710),
(7.03910614525, 895), (8.04469273743, 675), (9.05027932961, 905),
(10.0558659218, 695), (11.061452514, 780), (12.0670391061, 820),
(13.0726256983, 590), (14.0782122905, 825), (15.0837988827, 580),
(16.0893854749, 830), (17.094972067, 585), (18.1005586592, 830),
(19.1061452514, 585), (20.1117318436, 830), (21.1173184358, 830),
(22.1229050279, 830), (23.1284916201, 975), (24.1340782123, 830),
(25.1396648045, 620), (26.1452513966, 830), (27.1508379888, 830),
(28.156424581, 590), (29.1620111732, 830), (30.1675977654, 830),
(31.1731843575, 980), (32.1787709497, 830), (33.1843575419, 830),
(34.1899441341, 645), (35.1955307263, 645), (36.2011173184, 405),
(37.2067039106, 645), (38.2122905028, 645), (39.217877095, 815),

```

(40.2234636872, 640), (41.2290502793, 860), (42.2346368715, 640),
(43.2402234637, 875), (44.2458100559, 640), (45.251396648, 640),
(46.2569832402, 640), (47.2625698324, 425), (48.2681564246, 640),
(49.2737430168, 960), (50.2793296089, 640), (51.2849162011, 640),
(52.2905027933, 645), (53.2960893855, 885), (54.3016759777, 685),
(55.3072625698, 735), (56.312849162, 895), (57.3184357542, 775),
(58.3240223464, 930), (59.3296089385, 790), (60.3351955307, 790),
(61.3407821229, 955), (62.3463687151, 790), (63.3519553073, 790),
(64.3575418994, 890), (65.3631284916, 790), (66.3687150838, 940),
(67.374301676, 790), (68.3798882682, 790), (69.3854748603, 790),
(70.3910614525, 680), (71.3966480447, 790), (72.4022346369, 790),
(73.4078212291, 480), (74.4134078212, 455), (75.4189944134, 590),
(76.4245810056, 790), (77.4301675978, 790), (78.4357541899, 790),
(79.4413407821, 460), (80.4469273743, 790), (81.4525139665, 790),
(82.4581005587, 550), (83.4636871508, 790), (84.469273743, 790),
(85.4748603352, 885), (86.4804469274, 660), (87.4860335196, 790),
(88.4916201117, 915), (89.4972067039, 675), (90.5027932961, 790),
(91.5083798883, 900), (92.5139664804, 890), (93.5195530726, 485),
(94.5251396648, 790), (95.530726257, 785), (96.5363128492, 915),
(97.5418994413, 905), (98.5474860335, 725), (99.5530726257, 710),
(100.558659218, 375), (101.56424581, 685), (102.569832402, 360),
(103.575418994, 670), (104.581005587, 670), (105.586592179, 670),
(106.592178771, 900), (107.597765363, 670), (108.603351955, 670),
(109.608938547, 880), (110.61452514, 670), (111.620111732, 860),
(112.625698324, 670), (113.631284916, 665), (114.636871508, 920),
(115.642458101, 665), (116.648044693, 990), (117.653631285, 665),
(118.659217877, 660), (119.664804469, 920), (120.670391061, 855),
(121.675977654, 670), (122.681564246, 675), (123.687150838, 685),
(124.69273743, 690), (125.698324022, 895), (126.703910615, 715),
(127.709497207, 730), (128.715083799, 895), (129.720670391, 745),
(130.726256983, 745), (131.731843575, 745), (132.737430168, 790),
(133.74301676, 800), (134.748603352, 815), (135.754189944, 840),
(136.759776536, 975), (137.765363128, 985), (138.770949721, 865),
(139.776536313, 945), (140.782122905, 880), (141.787709497, 990),
(142.793296089, 955), (143.798882682, 895), (144.804469274, 895),
(145.810055866, 600), (146.815642458, 780), (147.82122905, 895),
(148.826815642, 475), (149.832402235, 895), (150.837988827, 895),
(151.843575419, 505), (152.849162011, 895), (153.854748603, 495),
(154.860335196, 500), (155.865921788, 895), (156.87150838, 895),
(157.877094972, 895), (158.882681564, 895), (159.888268156, 895),
(160.893854749, 875), (161.899441341, 605), (162.905027933, 855),
(163.910614525, 835), (164.916201117, 555), (165.921787709, 520),
(166.927374302, 790), (167.932960894, 525), (168.938547486, 775),
(169.944134078, 500), (170.94972067, 755), (171.955307263, 980),
(172.960893855, 740), (173.966480447, 865), (174.972067039, 525),

```

(175.977653631, 710), (176.983240223, 850), (177.988826816, 470),
(178.994413408, 455), (180, 870)
: c Lote_do_Pedido_da_Loja = Intervalo_de_pedido_da_loja* 750
: c Pedido_da_Loja =
PULSE(Lote_do_Pedido_da_Loja,Intervalo_de_pedido_da_loja,Intervalo_de_pedido_da_loja)
: c Lote_do_pedido__do_CD = Intervalo_de_pedido_do_CD* 750
: c Pedido_do_CD =
PULSE(Lote_do_pedido__do_CD,Intervalo_de_pedido_do_CD,Intervalo_de_pedido_do_CD)
: f Pedidos_entregue_pela_Fabrica =
delay(Pedido_do_CD,Tempo_de__reposi <o_do_pedido_do_CD,0)
: f Pedidos_entregue_pelo_CD = delay (Pedido_da_Loja,
Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja,0)
: f pedidos_entregues_pela_loja = if
Estoque_Loja>= Grafico_da_demanda_Cliente_final then
Grafico_da_demanda_Cliente_final else Estoque_Loja
: c Nivel_servi o_CD =
Pedidos_entregues_pelo_CD/(Pedidos_entregues_pelo_CD+ Demanda_n<o_atendida_CD)
: c quebra_de_estoque_Loja = if
Estoque_Loja< Grafico_da_demanda_Cliente_final then 1 else 0
: c Nivel_de_servico_loja =
Entregas_para_o_cliente/(Demanda_n<o_atendida_Loja+ Entregas_para_o_cliente)
: f pedidos_n<o_atendidos_Loja =
quebra_de_estoque_Loja* (Grafico_da_demanda_Cliente_final- Estoque_Loja)
: c Lead_Time = (Estoque_CD+ Estoque_Loja)/750
: c quebra_de_estoque_CD = if Estoque_CD< Pedido_da_Loja then 1 else 0
: f pedidos_n<o_atendidos_CD = quebra_de_estoque_CD
: f pedidos__entregues_pelo_CD = if Estoque_CD>= Pedido_da_Loja then
Pedido_da_Loja else Estoque_CD
: c Nivel_de_Cadeia_de_Suprimentos =
Nivel_de_servico_loja* Nivel_servi o_CD
: c Giro_de_Estoque = 365/Lead_Time

{ TIME SPECS }
STARTTIME= 0
STOPTIME= 180
DT= 1.00
INTEGRATION= EULER
RUNMODE= NORMAL
PAUSEINTERVAL= INF

```


{ VERSION 9.1.2 }

{ INITIALIZATION EQUATIONS }

: s Estoque_Loja = 750*7

: f Grafico_da_demanda_Cliente_final = GRAPH(TIME)

(0, 755), (1.00558659218, 730), (2.01117318436, 710), (3.01675977654, 895), (4.02234636872, 720), (5.02793296089, 905), (6.03351955307, 710), (7.03910614525, 895), (8.04469273743, 675), (9.05027932961, 905), (10.0558659218, 695), (11.061452514, 780), (12.0670391061, 820), (13.0726256983, 590), (14.0782122905, 825), (15.0837988827, 580), (16.0893854749, 830), (17.094972067, 585), (18.1005586592, 830), (19.1061452514, 585), (20.1117318436, 830), (21.1173184358, 830), (22.1229050279, 830), (23.1284916201, 975), (24.1340782123, 830), (25.1396648045, 620), (26.1452513966, 830), (27.1508379888, 830), (28.156424581, 590), (29.1620111732, 830), (30.1675977654, 830), (31.1731843575, 980), (32.1787709497, 830), (33.1843575419, 830), (34.1899441341, 645), (35.1955307263, 645), (36.2011173184, 405), (37.2067039106, 645), (38.2122905028, 645), (39.217877095, 815), (40.2234636872, 640), (41.2290502793, 860), (42.2346368715, 640), (43.2402234637, 875), (44.2458100559, 640), (45.251396648, 640), (46.2569832402, 640), (47.2625698324, 425), (48.2681564246, 640), (49.2737430168, 960), (50.2793296089, 640), (51.2849162011, 640), (52.2905027933, 645), (53.2960893855, 885), (54.3016759777, 685), (55.3072625698, 735), (56.312849162, 895), (57.3184357542, 775), (58.3240223464, 930), (59.3296089385, 790), (60.3351955307, 790), (61.3407821229, 955), (62.3463687151, 790), (63.3519553073, 790), (64.3575418994, 890), (65.3631284916, 790), (66.3687150838, 940), (67.374301676, 790), (68.3798882682, 790), (69.3854748603, 790), (70.3910614525, 680), (71.3966480447, 790), (72.4022346369, 790), (73.4078212291, 480), (74.4134078212, 455), (75.4189944134, 590), (76.4245810056, 790), (77.4301675978, 790), (78.4357541899, 790), (79.4413407821, 460), (80.4469273743, 790), (81.4525139665, 790), (82.4581005587, 550), (83.4636871508, 790), (84.469273743, 790), (85.4748603352, 885), (86.4804469274, 660), (87.4860335196, 790), (88.4916201117, 915), (89.4972067039, 675), (90.5027932961, 790), (91.5083798883, 900), (92.5139664804, 890), (93.5195530726, 485), (94.5251396648, 790), (95.530726257, 785), (96.5363128492, 915), (97.5418994413, 905), (98.5474860335, 725), (99.5530726257, 710), (100.558659218, 375), (101.56424581, 685), (102.569832402, 360), (103.575418994, 670), (104.581005587, 670), (105.586592179, 670), (106.592178771, 900), (107.597765363, 670), (108.603351955, 670), (109.608938547, 880), (110.61452514, 670), (111.620111732, 860), (112.625698324, 670), (113.631284916, 665), (114.636871508, 920), (115.642458101, 665), (116.648044693, 990), (117.653631285, 665),

(118.659217877, 660), (119.664804469, 920), (120.670391061, 855),
 (121.675977654, 670), (122.681564246, 675), (123.687150838, 685),
 (124.69273743, 690), (125.698324022, 895), (126.703910615, 715),
 (127.709497207, 730), (128.715083799, 895), (129.720670391, 745),
 (130.726256983, 745), (131.731843575, 745), (132.737430168, 790),
 (133.74301676, 800), (134.748603352, 815), (135.754189944, 840),
 (136.759776536, 975), (137.765363128, 985), (138.770949721, 865),
 (139.776536313, 945), (140.782122905, 880), (141.787709497, 990),
 (142.793296089, 955), (143.798882682, 895), (144.804469274, 895),
 (145.810055866, 600), (146.815642458, 780), (147.82122905, 895),
 (148.826815642, 475), (149.832402235, 895), (150.837988827, 895),
 (151.843575419, 505), (152.849162011, 895), (153.854748603, 495),
 (154.860335196, 500), (155.865921788, 895), (156.87150838, 895),
 (157.877094972, 895), (158.882681564, 895), (159.888268156, 895),
 (160.893854749, 875), (161.899441341, 605), (162.905027933, 855),
 (163.910614525, 835), (164.916201117, 555), (165.921787709, 520),
 (166.927374302, 790), (167.932960894, 525), (168.938547486, 775),
 (169.944134078, 500), (170.94972067, 755), (171.955307263, 980),
 (172.960893855, 740), (173.966480447, 865), (174.972067039, 525),
 (175.977653631, 710), (176.983240223, 850), (177.988826816, 470),
 (178.994413408, 455), (180, 870)

: c Intervalo_de_pedido_da_loja = 10

: c Lote_do_Pedido_da_Loja = Intervalo_de_pedido_da_loja* 750

: c Pedido_da_Loja =

pulse(Lote_do_Pedido_da_Loja,Intervalo_de_pedido_da_loja,Intervalo_de_pedido_da_loja)

: c Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja = 5

: s Estoque_CD = 1

: c Tempo_de__reposi <o_do_pedido_do_CD = 5

: c Ponto_de__pedido_do_CD =

750* Tempo_de__reposi <o_do_pedido_do_CD+ 750

: c Intervalo_de_pedido_do_CD = 10

: c Lote_do_pedido__do_CD = Intervalo_de_pedido_do_CD* 750

: c Pedido_do_CD = if Estoque_CD< Ponto_de__pedido_do_CD then Lote_do_pedido__do_CD else 0

: f Pedidos_entregue_pela_Fabrica = Pedido_do_CD

: f Pedidos_entregue_pelo_CD = delay (Pedido_da_Loja, Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja,0)

```

: f pedidos_entregues_pela_loja = if
Estoque_Loja >= Grafico_da_demanda_Cliente_final then
Grafico_da_demanda_Cliente_final else Estoque_Loja
: s Demanda_Cliente_Final = 0
: s Pedidos_entregues_pelo_CD = 0
: s Demanda_nºo_atendida_CD = 1
: c Nivel_servi_o_CD =
Pedidos_entregues_pelo_CD / (Pedidos_entregues_pelo_CD + Demanda_nºo_atendi
da_CD)
: s Entregas_para_o_cliente = 1
: s Demanda_nºo_atendida_Loja = 1
: c quebra_de_estoque_Loja = if
Estoque_Loja < Grafico_da_demanda_Cliente_final then 1 else 0
: c Nivel_de_servico_loja =
Entregas_para_o_cliente / (Demanda_nºo_atendida_Loja + Entregas_para_o_client
e)
: f pedidos_nºo_atendidos_Loja =
quebra_de_estoque_Loja * (Grafico_da_demanda_Cliente_final - Estoque_Loja)
: c Lead_Time = (Estoque_CD + Estoque_Loja) / 750
: c quebra_de_estoque_CD = if Estoque_CD < Pedido_da_Loja then 1 else 0
: f pedidos_nºo_atendidos_CD = quebra_de_estoque_CD
: f pedidos__entregues_pelo_CD = if Estoque_CD >= Pedido_da_Loja then
Pedido_da_Loja else Estoque_CD
: c Nivel_de_Cadeia_de_Suprimentos =
(Nivel_de_servico_loja * Nivel_servi_o_CD) * 100
: c Giro_de_Estoque = 365 / Lead_Time

```

```
{ RUNTIME EQUATIONS }
```

```

: s Estoque_Loja(t) = Estoque_Loja(t - dt) + (Pedidos_entregue_pelo_CD -
pedidos_entregues_pela_loja) * dt
: s Estoque_CD(t) = Estoque_CD(t - dt) + (Pedidos_entregue_pela_Fabrica -
Pedidos_entregue_pelo_CD) * dt
: s Demanda_Cliente_Final(t) = Demanda_Cliente_Final(t - dt) +
(Grafico_da_demanda_Cliente_final) * dt
: s Pedidos_entregues_pelo_CD(t) = Pedidos_entregues_pelo_CD(t - dt) +
(pedidos__entregues_pelo_CD) * dt

```

: s Demanda_nº_atendida_CD(t) = Demanda_nº_atendida_CD(t - dt) +
(pedidos_nº_atendidos_CD) * dt

: s Entregas_para_o_cliente(t) = Entregas_para_o_cliente(t - dt) +
(pedidos_entregues_pela_loja) * dt

: s Demanda_nº_atendida_Loja(t) = Demanda_nº_atendida_Loja(t - dt) +
(pedidos_nº_atendidos_Loja) * dt

: f Grafico_da_demanda_Cliente_final = GRAPH(TIME)

(0, 675), (1.00558659218, 795), (2.01117318436, 630), (3.01675977654, 800),
(4.02234636872, 625), (5.02793296089, 800), (6.03351955307, 620),
(7.03910614525, 790), (8.04469273743, 620), (9.05027932961, 805),
(10.0558659218, 490), (11.061452514, 585), (12.0670391061, 480),
(13.0726256983, 585), (14.0782122905, 455), (15.0837988827, 450),
(16.0893854749, 590), (17.094972067, 445), (18.1005586592, 445),
(19.1061452514, 575), (20.1117318436, 440), (21.1173184358, 440),
(22.1229050279, 580), (23.1284916201, 435), (24.1340782123, 440),
(25.1396648045, 850), (26.1452513966, 440), (27.1508379888, 440),
(28.156424581, 825), (29.1620111732, 445), (30.1675977654, 460),
(31.1731843575, 840), (32.1787709497, 470), (33.1843575419, 470),
(34.1899441341, 680), (35.1955307263, 490), (36.2011173184, 505),
(37.2067039106, 1000), (38.2122905028, 520), (39.217877095, 545),
(40.2234636872, 750), (41.2290502793, 570), (42.2346368715, 750),
(43.2402234637, 605), (44.2458100559, 780), (45.251396648, 615),
(46.2569832402, 820), (47.2625698324, 640), (48.2681564246, 655),
(49.2737430168, 670), (50.2793296089, 955), (51.2849162011, 690),
(52.2905027933, 955), (53.2960893855, 710), (54.3016759777, 925),
(55.3072625698, 945), (56.312849162, 725), (57.3184357542, 730),
(58.3240223464, 955), (59.3296089385, 735), (60.3351955307, 740),
(61.3407821229, 980), (62.3463687151, 735), (63.3519553073, 940),
(64.3575418994, 745), (65.3631284916, 955), (66.3687150838, 745),
(67.374301676, 960), (68.3798882682, 745), (69.3854748603, 745),
(70.3910614525, 1000), (71.3966480447, 745), (72.4022346369, 745),
(73.4078212291, 875), (74.4134078212, 720), (75.4189944134, 780),
(76.4245810056, 680), (77.4301675978, 890), (78.4357541899, 650),
(79.4413407821, 630), (80.4469273743, 1000), (81.4525139665, 690),
(82.4581005587, 580), (83.4636871508, 570), (84.469273743, 820),
(85.4748603352, 555), (86.4804469274, 805), (87.4860335196, 545),
(88.4916201117, 545), (89.4972067039, 850), (90.5027932961, 545),
(91.5083798883, 925), (92.5139664804, 905), (93.5195530726, 970),
(94.5251396648, 545), (95.530726257, 720), (96.5363128492, 545),
(97.5418994413, 550), (98.5474860335, 580), (99.5530726257, 595),
(100.558659218, 605), (101.56424581, 640), (102.569832402, 890),
(103.575418994, 985), (104.581005587, 970), (105.586592179, 745),
(106.592178771, 765), (107.597765363, 835), (108.603351955, 810),
(109.608938547, 995), (110.61452514, 990), (111.620111732, 860),

(112.625698324, 845), (113.631284916, 850), (114.636871508, 860),
(115.642458101, 865), (116.648044693, 870), (117.653631285, 870),
(118.659217877, 880), (119.664804469, 880), (120.670391061, 885),
(121.675977654, 885), (122.681564246, 885), (123.687150838, 885),
(124.69273743, 890), (125.698324022, 890), (126.703910615, 890),
(127.709497207, 890), (128.715083799, 890), (129.720670391, 890),
(130.726256983, 890), (131.731843575, 890), (132.737430168, 890),
(133.74301676, 875), (134.748603352, 870), (135.754189944, 845),
(136.759776536, 830), (137.765363128, 810), (138.770949721, 790),
(139.776536313, 775), (140.782122905, 755), (141.787709497, 755),
(142.793296089, 725), (143.798882682, 705), (144.804469274, 690),
(145.810055866, 675), (146.815642458, 825), (147.82122905, 910),
(148.826815642, 875), (149.832402235, 840), (150.837988827, 795),
(151.843575419, 625), (152.849162011, 625), (153.854748603, 625),
(154.860335196, 625), (155.865921788, 625), (156.87150838, 625),
(157.877094972, 625), (158.882681564, 625), (159.888268156, 625),
(160.893854749, 625), (161.899441341, 630), (162.905027933, 1000),
(163.910614525, 1000), (164.916201117, 670), (165.921787709, 695),
(166.927374302, 1000), (167.932960894, 760), (168.938547486, 740),
(169.944134078, 780), (170.94972067, 810), (171.955307263, 835),
(172.960893855, 860), (173.966480447, 865), (174.972067039, 875),
(175.977653631, 880), (176.983240223, 890), (177.988826816, 930),
(178.994413408, 905), (180, 890)

: c Lote_do_Pedido_da_Loja = Intervalo_de_pedido_da_loja* 750

: c Pedido_da_Loja =

pulse(Lote_do_Pedido_da_Loja,Intervalo_de_pedido_da_loja,Intervalo_de_pedido_da_loja)

: c Ponto_de__pedido_do_CD =

750* Tempo_de__reposi <o_do_pedido_do_CD+ 750

: c Lote_do_pedido__do_CD = Intervalo_de_pedido_do_CD* 750

: c Pedido_do_CD = if Estoque_CD< Ponto_de__pedido_do_CD then Lote_do_pedido__do_CD else 0

: f Pedidos_entregue_pela_Fabrica = Pedido_do_CD

: f Pedidos_entregue_pelo_CD = delay (Pedido_da_Loja, Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja,0)

: f pedidos_entregues_pela_loja = if

Estoque_Loja>= Grafico_da_demanda_Cliente_final then Grafico_da_demanda_Cliente_final else Estoque_Loja

: c Nivel_servi o_CD =

Pedidos_entregues_pelo_CD/(Pedidos_entregues_pelo_CD+ Demanda_n<o_atendi da_CD)

```

: c quebra_de_estoque_Loja = if
Estoque_Loja< Grafico_da_demanda_Cliente_final then 1 else 0
: c Nivel_de_servico_loja =
Entregas_para_o_cliente/(Demanda_nºo_atendida_Loja+ Entregas_para_o_client
e)
: f pedidos_nºo_atendidos_Loja =
quebra_de_estoque_Loja* (Grafico_da_demanda_Cliente_final-Estoque_Loja)
: c Lead_Time = (Estoque_CD+ Estoque_Loja)/750
: c quebra_de_estoque_CD = if Estoque_CD< Pedido_da_Loja then 1 else 0
: f pedidos_nºo_atendidos_CD = quebra_de_estoque_CD
: f pedidos__entregues_pelo_CD = if Estoque_CD>= Pedido_da_Loja then
Pedido_da_Loja else Estoque_CD
: c Nivel_de_Cadeia_de_Suprimentos =
(Nivel_de_servico_loja* Nivel_servi o_CD)* 100
: c Giro_de_Estoque = 365/Lead_Time

```

```
{ TIME SPECS }
```

```
STARTTIME= 0
```

```
STOPTIME= 180
```

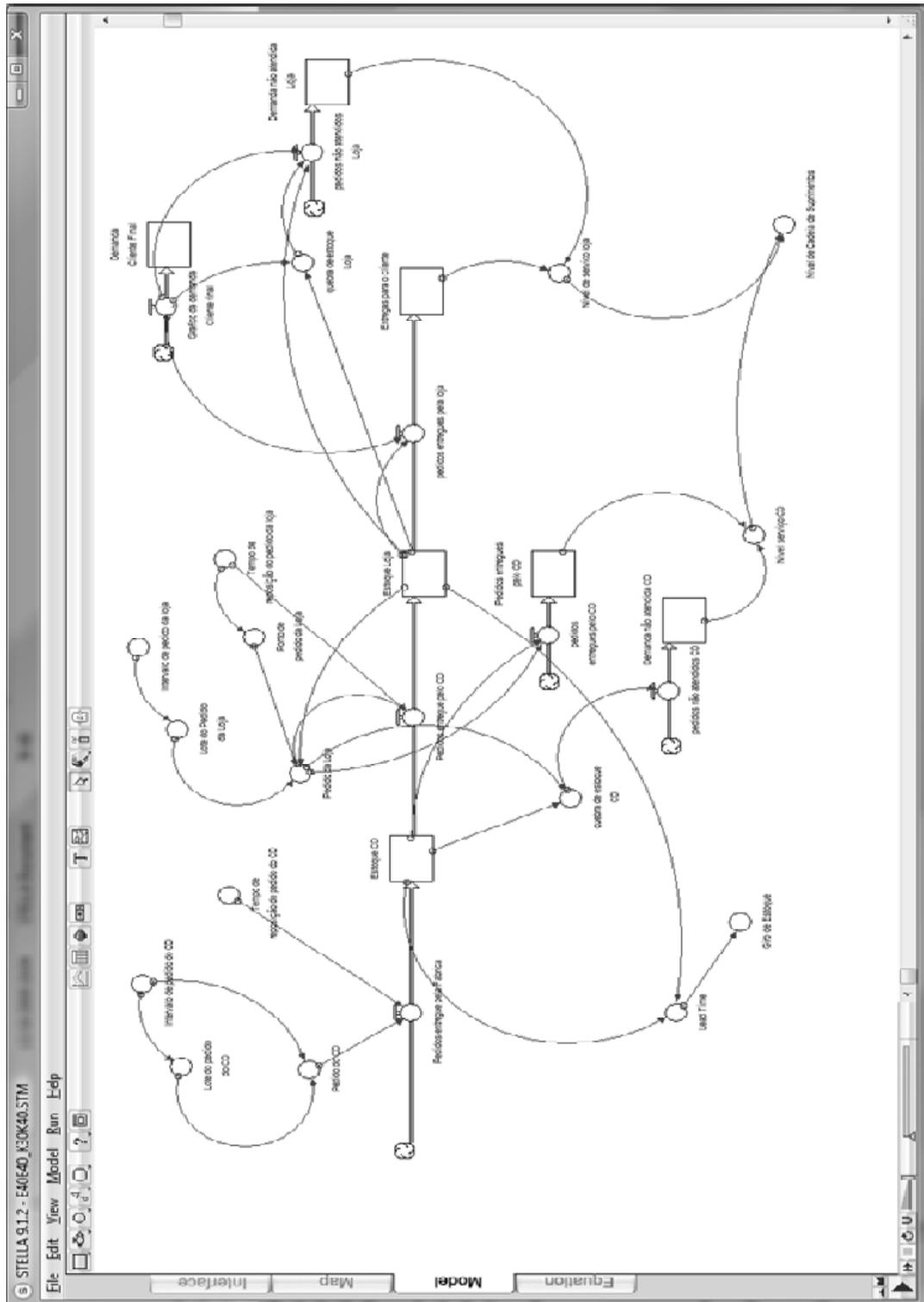
```
DT= 1.00
```

```
INTEGRATION= EULER
```

```
RUNMODE= NORMAL
```

```
PAUSEINTERVAL= INF
```

MODELO # 3 (EE - KK)



```
{ VERSION 9.1.2 }
```

```
{ INITIALIZATION EQUATIONS }
```

```
: s Estoque_Loja = 2000
```

```
: f Grafico_da_demanda_Cliente_final = GRAPH(TIME)
```

```
(0, 755), (1.00558659218, 730), (2.01117318436, 710), (3.01675977654,  
895), (4.02234636872, 720), (5.02793296089, 905), (6.03351955307, 710),  
(7.03910614525, 895), (8.04469273743, 675), (9.05027932961, 905),  
(10.0558659218, 695), (11.061452514, 780), (12.0670391061, 820),  
(13.0726256983, 590), (14.0782122905, 825), (15.0837988827, 580),  
(16.0893854749, 830), (17.094972067, 585), (18.1005586592, 830),  
(19.1061452514, 585), (20.1117318436, 830), (21.1173184358, 830),  
(22.1229050279, 830), (23.1284916201, 975), (24.1340782123, 830),  
(25.1396648045, 620), (26.1452513966, 830), (27.1508379888, 830),  
(28.156424581, 590), (29.1620111732, 830), (30.1675977654, 830),  
(31.1731843575, 980), (32.1787709497, 830), (33.1843575419, 830),  
(34.1899441341, 645), (35.1955307263, 645), (36.2011173184, 405),  
(37.2067039106, 645), (38.2122905028, 645), (39.217877095, 815),  
(40.2234636872, 640), (41.2290502793, 860), (42.2346368715, 640),  
(43.2402234637, 875), (44.2458100559, 640), (45.251396648, 640),  
(46.2569832402, 640), (47.2625698324, 425), (48.2681564246, 640),  
(49.2737430168, 960), (50.2793296089, 640), (51.2849162011, 640),  
(52.2905027933, 645), (53.2960893855, 885), (54.3016759777, 685),  
(55.3072625698, 735), (56.312849162, 895), (57.3184357542, 775),  
(58.3240223464, 930), (59.3296089385, 790), (60.3351955307, 790),  
(61.3407821229, 955), (62.3463687151, 790), (63.3519553073, 790),  
(64.3575418994, 890), (65.3631284916, 790), (66.3687150838, 940),  
(67.374301676, 790), (68.3798882682, 790), (69.3854748603, 790),  
(70.3910614525, 680), (71.3966480447, 790), (72.4022346369, 790),  
(73.4078212291, 480), (74.4134078212, 455), (75.4189944134, 590),  
(76.4245810056, 790), (77.4301675978, 790), (78.4357541899, 790),  
(79.4413407821, 460), (80.4469273743, 790), (81.4525139665, 790),  
(82.4581005587, 550), (83.4636871508, 790), (84.469273743, 790),  
(85.4748603352, 885), (86.4804469274, 660), (87.4860335196, 790),  
(88.4916201117, 915), (89.4972067039, 675), (90.5027932961, 790),  
(91.5083798883, 900), (92.5139664804, 890), (93.5195530726, 485),  
(94.5251396648, 790), (95.530726257, 785), (96.5363128492, 915),  
(97.5418994413, 905), (98.5474860335, 725), (99.5530726257, 710),  
(100.558659218, 375), (101.56424581, 685), (102.569832402, 360),  
(103.575418994, 670), (104.581005587, 670), (105.586592179, 670),  
(106.592178771, 900), (107.597765363, 670), (108.603351955, 670),  
(109.608938547, 880), (110.61452514, 670), (111.620111732, 860),  
(112.625698324, 670), (113.631284916, 665), (114.636871508, 920),
```

(115.642458101, 665), (116.648044693, 990), (117.653631285, 665),
 (118.659217877, 660), (119.664804469, 920), (120.670391061, 855),
 (121.675977654, 670), (122.681564246, 675), (123.687150838, 685),
 (124.69273743, 690), (125.698324022, 895), (126.703910615, 715),
 (127.709497207, 730), (128.715083799, 895), (129.720670391, 745),
 (130.726256983, 745), (131.731843575, 745), (132.737430168, 790),
 (133.74301676, 800), (134.748603352, 815), (135.754189944, 840),
 (136.759776536, 975), (137.765363128, 985), (138.770949721, 865),
 (139.776536313, 945), (140.782122905, 880), (141.787709497, 990),
 (142.793296089, 955), (143.798882682, 895), (144.804469274, 895),
 (145.810055866, 600), (146.815642458, 780), (147.82122905, 895),
 (148.826815642, 475), (149.832402235, 895), (150.837988827, 895),
 (151.843575419, 505), (152.849162011, 895), (153.854748603, 495),
 (154.860335196, 500), (155.865921788, 895), (156.87150838, 895),
 (157.877094972, 895), (158.882681564, 895), (159.888268156, 895),
 (160.893854749, 875), (161.899441341, 605), (162.905027933, 855),
 (163.910614525, 835), (164.916201117, 555), (165.921787709, 520),
 (166.927374302, 790), (167.932960894, 525), (168.938547486, 775),
 (169.944134078, 500), (170.94972067, 755), (171.955307263, 980),
 (172.960893855, 740), (173.966480447, 865), (174.972067039, 525),
 (175.977653631, 710), (176.983240223, 850), (177.988826816, 470),
 (178.994413408, 455), (180, 870)

```

: c Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja = 5
: c Ponto_de__pedido_da_Loja =
750*Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja+ 2* 390+ 750
: c Intervalo_de_pedido_da_loja = 20
: c Lote_do_Pedido_da_Loja = Intervalo_de_pedido_da_loja* 750
: c Pedido_da_Loja = if Estoque_Loja< Ponto_de__pedido_da_Loja then
Lote_do_Pedido_da_Loja else 0
: c Intervalo_de_pedido_do_CD = 20
: c Lote_do_pedido__do_CD = Intervalo_de_pedido_do_CD* 750
: c Pedido_do_CD =
PULSE(Lote_do_pedido__do_CD,Intervalo_de_pedido_do_CD,Intervalo_de_pedid
o_do_CD)
: c Tempo_de__reposi <o_do_pedido_do_CD = 5
: f Pedidos_entregue_pela_Fabrica =
delay(Pedido_do_CD,Tempo_de__reposi <o_do_pedido_do_CD,0)
: f Pedidos_entregue_pelo_CD = delay (Pedido_da_Loja,
Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja,0)

```

```

: f pedidos_entregues_pela_loja = if
Estoque_Loja >= Grafico_da_demanda_Cliente_final then
Grafico_da_demanda_Cliente_final else Estoque_Loja
: s Demanda_Cliente_Final = 0
: s Pedidos_entregues_pelo_CD = 0
: s Demanda_nºo_atendida_CD = 1
: c Nivel_servi_o_CD =
Pedidos_entregues_pelo_CD / (Pedidos_entregues_pelo_CD + Demanda_nºo_atendi
da_CD)
: s Entregas_para_o_cliente = 1
: s Demanda_nºo_atendida_Loja = 1
: c quebra_de_estoque_Loja = if
Estoque_Loja < Grafico_da_demanda_Cliente_final then 1 else 0
: c Nivel_de_servico_loja =
Entregas_para_o_cliente / (Demanda_nºo_atendida_Loja + Entregas_para_o_client
e)
: f pedidos_nºo_atendidos_Loja =
quebra_de_estoque_Loja * (Grafico_da_demanda_Cliente_final - Estoque_Loja)
: s Estoque_CD = 50000
: c quebra_de_estoque_CD = if Estoque_CD < Pedido_da_Loja then 1 else 0
: f pedidos_nºo_atendidos_CD = quebra_de_estoque_CD
: f pedidos__entregues_pelo_CD = if Estoque_CD >= Pedido_da_Loja then
Pedido_da_Loja else Estoque_CD
: c Nivel_de_Cadeia_de_Suprimentos = Nivel_de_servico_loja * Nivel_servi_o_CD
: c Lead_Time = (Estoque_CD + Estoque_Loja) / 750
: c Giro_de_Estoque = 365 / Lead_Time

```

```
{ RUNTIME EQUATIONS }
```

```

: s Estoque_Loja(t) = Estoque_Loja(t - dt) + (Pedidos_entregue_pelo_CD -
pedidos_entregues_pela_loja) * dt
: s Demanda_Cliente_Final(t) = Demanda_Cliente_Final(t - dt) +
(Grafico_da_demanda_Cliente_final) * dt
: s Pedidos_entregues_pelo_CD(t) = Pedidos_entregues_pelo_CD(t - dt) +
(pedidos__entregues_pelo_CD) * dt
: s Demanda_nºo_atendida_CD(t) = Demanda_nºo_atendida_CD(t - dt) +
(pedidos_nºo_atendidos_CD) * dt

```

: s Entregas_para_o_cliente(t) = Entregas_para_o_cliente(t - dt) +
 (pedidos_entregues_pela_loja) * dt

: s Demanda_nºo_atendida_Loja(t) = Demanda_nºo_atendida_Loja(t - dt) +
 (pedidos_nºo_atendidos_Loja) * dt

: s Estoque_CD(t) = Estoque_CD(t - dt) + (Pedidos_entregue_pela_Fabrica -
 Pedidos_entregue_pelo_CD) * dt

: f Grafico_da_demanda_Cliente_final = GRAPH(TIME)

(0, 1000), (1.00558659218, 1000), (2.01117318436, 1000), (3.01675977654,
 1000), (4.02234636872, 685), (5.02793296089, 1000), (6.03351955307, 1000),
 (7.03910614525, 1000), (8.04469273743, 585), (9.05027932961, 1000),
 (10.0558659218, 1000), (11.061452514, 590), (12.0670391061, 1000),
 (13.0726256983, 1000), (14.0782122905, 590), (15.0837988827, 610),
 (16.0893854749, 1000), (17.094972067, 1000), (18.1005586592, 600),
 (19.1061452514, 1000), (20.1117318436, 1000), (21.1173184358, 1000),
 (22.1229050279, 605), (23.1284916201, 650), (24.1340782123, 1000),
 (25.1396648045, 1000), (26.1452513966, 710), (27.1508379888, 1000),
 (28.156424581, 1000), (29.1620111732, 670), (30.1675977654, 1000),
 (31.1731843575, 1000), (32.1787709497, 1000), (33.1843575419, 1000),
 (34.1899441341, 610), (35.1955307263, 1000), (36.2011173184, 1000),
 (37.2067039106, 600), (38.2122905028, 1000), (39.217877095, 675),
 (40.2234636872, 1000), (41.2290502793, 620), (42.2346368715, 1000),
 (43.2402234637, 1000), (44.2458100559, 635), (45.251396648, 1000),
 (46.2569832402, 1000), (47.2625698324, 1000), (48.2681564246, 1000),
 (49.2737430168, 1000), (50.2793296089, 635), (51.2849162011, 615),
 (52.2905027933, 1000), (53.2960893855, 605), (54.3016759777, 1000),
 (55.3072625698, 640), (56.312849162, 1000), (57.3184357542, 625),
 (58.3240223464, 1000), (59.3296089385, 600), (60.3351955307, 1000),
 (61.3407821229, 555), (62.3463687151, 475), (63.3519553073, 680),
 (64.3575418994, 1000), (65.3631284916, 1000), (66.3687150838, 1000),
 (67.374301676, 520), (68.3798882682, 1000), (69.3854748603, 540),
 (70.3910614525, 1000), (71.3966480447, 580), (72.4022346369, 1000),
 (73.4078212291, 1000), (74.4134078212, 600), (75.4189944134, 1000),
 (76.4245810056, 625), (77.4301675978, 1000), (78.4357541899, 615),
 (79.4413407821, 690), (80.4469273743, 970), (81.4525139665, 900),
 (82.4581005587, 620), (83.4636871508, 805), (84.469273743, 820),
 (85.4748603352, 825), (86.4804469274, 850), (87.4860335196, 780),
 (88.4916201117, 795), (89.4972067039, 845), (90.5027932961, 850),
 (91.5083798883, 860), (92.5139664804, 650), (93.5195530726, 860),
 (94.5251396648, 865), (95.530726257, 625), (96.5363128492, 870),
 (97.5418994413, 525), (98.5474860335, 875), (99.5530726257, 520),
 (100.558659218, 895), (101.56424581, 900), (102.569832402, 615),
 (103.575418994, 905), (104.581005587, 920), (105.586592179, 475),
 (106.592178771, 950), (107.597765363, 580), (108.603351955, 970),
 (109.608938547, 980), (110.61452514, 735), (111.620111732, 980),

(112.625698324, 605), (113.631284916, 985), (114.636871508, 985),
(115.642458101, 990), (116.648044693, 375), (117.653631285, 990),
(118.659217877, 670), (119.664804469, 640), (120.670391061, 720),
(121.675977654, 755), (122.681564246, 780), (123.687150838, 600),
(124.69273743, 825), (125.698324022, 665), (126.703910615, 950),
(127.709497207, 955), (128.715083799, 675), (129.720670391, 965),
(130.726256983, 565), (131.731843575, 965), (132.737430168, 640),
(133.74301676, 655), (134.748603352, 965), (135.754189944, 965),
(136.759776536, 620), (137.765363128, 965), (138.770949721, 965),
(139.776536313, 965), (140.782122905, 400), (141.787709497, 965),
(142.793296089, 965), (143.798882682, 655), (144.804469274, 965),
(145.810055866, 965), (146.815642458, 545), (147.82122905, 955),
(148.826815642, 950), (149.832402235, 665), (150.837988827, 945),
(151.843575419, 635), (152.849162011, 945), (153.854748603, 675),
(154.860335196, 945), (155.865921788, 635), (156.87150838, 930),
(157.877094972, 715), (158.882681564, 900), (159.888268156, 890),
(160.893854749, 610), (161.899441341, 600), (162.905027933, 855),
(163.910614525, 620), (164.916201117, 815), (165.921787709, 800),
(166.927374302, 485), (167.932960894, 785), (168.938547486, 1000),
(169.944134078, 785), (170.94972067, 785), (171.955307263, 780),
(172.960893855, 1000), (173.966480447, 780), (174.972067039, 780),
(175.977653631, 780), (176.983240223, 825), (177.988826816, 840),
(178.994413408, 865), (180, 890)

: c Ponto_de__pedido_da_Loja =

750* Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja+ 2* 390+ 750

: c Lote_do_Pedido_da_Loja = Intervalo_de_pedido_da_loja* 750

: c Pedido_da_Loja = if Estoque_Loja< Ponto_de__pedido_da_Loja then
Lote_do_Pedido_da_Loja else 0

: c Lote_do_pedido__do_CD = Intervalo_de_pedido_do_CD* 750

: c Pedido_do_CD =

PULSE(Lote_do_pedido__do_CD,Intervalo_de_pedido_do_CD,Intervalo_de_pedido_do_CD)

: f Pedidos_entregue_pela_Fabrica =

delay(Pedido_do_CD,Tempo_de__reposi <o_do_pedido_do_CD,0)

: f Pedidos_entregue_pelo_CD = delay (Pedido_da_Loja,
Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja,0)

: f pedidos_entregues_pela_loja = if

Estoque_Loja>= Grafico_da_demanda_Cliente_final then
Grafico_da_demanda_Cliente_final else Estoque_Loja

: c Nivel_servi o_CD =

Pedidos_entregues_pelo_CD/(Pedidos_entregues_pelo_CD+ Demanda_n<o_atendi
da_CD)

```

: c quebra_de_estoque_Loja = if
Estoque_Loja< Grafico_da_demanda_Cliente_final then 1 else 0
: c Nivel_de_servico_loja =
Entregas_para_o_cliente/(Demanda_n<o_atendida_Loja+ Entregas_para_o_client
e)
: f pedidos_n<o_atendidos_Loja =
quebra_de_estoque_Loja* (Grafico_da_demanda_Cliente_final-Estoque_Loja)
: c quebra_de_estoque_CD = if Estoque_CD< Pedido_da_Loja then 1 else 0
: f pedidos_n<o_atendidos_CD = quebra_de_estoque_CD
: f pedidos__entregues_pelo_CD = if Estoque_CD>= Pedido_da_Loja then
Pedido_da_Loja else Estoque_CD
: c Nivel_de_Cadeia_de_Suprimentos = Nivel_de_servico_loja* Nivel_servi o_CD
: c Lead_Time = (Estoque_CD+ Estoque_Loja)/750
: c Giro_de_Estoque = 365/Lead_Time

```

```
{ TIME SPECS }
```

```
STARTTIME= 0
```

```
STOPTIME= 180
```

```
DT= 1.00
```

```
INTEGRATION= EULER
```

```
RUNMODE= NORMAL
```

```
PAUSEINTERVAL= INF
```


{ VERSION 9.1.2 }

{ INITIALIZATION EQUATIONS }

: s Estoque_Loja = 2000

: f Grafico_da_demanda_Cliente_final = GRAPH(TIME)

: f Grafico_da_demanda_Cliente_final = GRAPH(TIME)

(0, 755), (1.00558659218, 730), (2.01117318436, 710), (3.01675977654, 895), (4.02234636872, 720), (5.02793296089, 905), (6.03351955307, 710), (7.03910614525, 895), (8.04469273743, 675), (9.05027932961, 905), (10.0558659218, 695), (11.061452514, 780), (12.0670391061, 820), (13.0726256983, 590), (14.0782122905, 825), (15.0837988827, 580), (16.0893854749, 830), (17.094972067, 585), (18.1005586592, 830), (19.1061452514, 585), (20.1117318436, 830), (21.1173184358, 830), (22.1229050279, 830), (23.1284916201, 975), (24.1340782123, 830), (25.1396648045, 620), (26.1452513966, 830), (27.1508379888, 830), (28.156424581, 590), (29.1620111732, 830), (30.1675977654, 830), (31.1731843575, 980), (32.1787709497, 830), (33.1843575419, 830), (34.1899441341, 645), (35.1955307263, 645), (36.2011173184, 405), (37.2067039106, 645), (38.2122905028, 645), (39.217877095, 815), (40.2234636872, 640), (41.2290502793, 860), (42.2346368715, 640), (43.2402234637, 875), (44.2458100559, 640), (45.251396648, 640), (46.2569832402, 640), (47.2625698324, 425), (48.2681564246, 640), (49.2737430168, 960), (50.2793296089, 640), (51.2849162011, 640), (52.2905027933, 645), (53.2960893855, 885), (54.3016759777, 685), (55.3072625698, 735), (56.312849162, 895), (57.3184357542, 775), (58.3240223464, 930), (59.3296089385, 790), (60.3351955307, 790), (61.3407821229, 955), (62.3463687151, 790), (63.3519553073, 790), (64.3575418994, 890), (65.3631284916, 790), (66.3687150838, 940), (67.374301676, 790), (68.3798882682, 790), (69.3854748603, 790), (70.3910614525, 680), (71.3966480447, 790), (72.4022346369, 790), (73.4078212291, 480), (74.4134078212, 455), (75.4189944134, 590), (76.4245810056, 790), (77.4301675978, 790), (78.4357541899, 790), (79.4413407821, 460), (80.4469273743, 790), (81.4525139665, 790), (82.4581005587, 550), (83.4636871508, 790), (84.469273743, 790), (85.4748603352, 885), (86.4804469274, 660), (87.4860335196, 790), (88.4916201117, 915), (89.4972067039, 675), (90.5027932961, 790), (91.5083798883, 900), (92.5139664804, 890), (93.5195530726, 485), (94.5251396648, 790), (95.530726257, 785), (96.5363128492, 915), (97.5418994413, 905), (98.5474860335, 725), (99.5530726257, 710), (100.558659218, 375), (101.56424581, 685), (102.569832402, 360), (103.575418994, 670), (104.581005587, 670), (105.586592179, 670), (106.592178771, 900), (107.597765363, 670), (108.603351955, 670), (109.608938547, 880), (110.61452514, 670), (111.620111732, 860), (112.625698324, 670), (113.631284916, 665), (114.636871508, 920),

(115.642458101, 665), (116.648044693, 990), (117.653631285, 665),
(118.659217877, 660), (119.664804469, 920), (120.670391061, 855),
(121.675977654, 670), (122.681564246, 675), (123.687150838, 685),
(124.69273743, 690), (125.698324022, 895), (126.703910615, 715),
(127.709497207, 730), (128.715083799, 895), (129.720670391, 745),
(130.726256983, 745), (131.731843575, 745), (132.737430168, 790),
(133.74301676, 800), (134.748603352, 815), (135.754189944, 840),
(136.759776536, 975), (137.765363128, 985), (138.770949721, 865),
(139.776536313, 945), (140.782122905, 880), (141.787709497, 990),
(142.793296089, 955), (143.798882682, 895), (144.804469274, 895),
(145.810055866, 600), (146.815642458, 780), (147.82122905, 895),
(148.826815642, 475), (149.832402235, 895), (150.837988827, 895),
(151.843575419, 505), (152.849162011, 895), (153.854748603, 495),
(154.860335196, 500), (155.865921788, 895), (156.87150838, 895),
(157.877094972, 895), (158.882681564, 895), (159.888268156, 895),
(160.893854749, 875), (161.899441341, 605), (162.905027933, 855),
(163.910614525, 835), (164.916201117, 555), (165.921787709, 520),
(166.927374302, 790), (167.932960894, 525), (168.938547486, 775),
(169.944134078, 500), (170.94972067, 755), (171.955307263, 980),
(172.960893855, 740), (173.966480447, 865), (174.972067039, 525),
(175.977653631, 710), (176.983240223, 850), (177.988826816, 470),
(178.994413408, 455), (180, 870)

```

: c Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja = 3
: c Ponto_de__pedido_da_Loja =
750*Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja+ 2* 390+ 750
: c Intervalo_de_pedido_da_loja = 5
: c Lote_do_Pedido_da_Loja = Intervalo_de_pedido_da_loja* 750
: c Pedido_da_Loja = if Estoque_Loja< Ponto_de__pedido_da_Loja then
Lote_do_Pedido_da_Loja else 0
: s Estoque_CD = 20000
: c Tempo_de__reposi <o_do_pedido_do_CD = 3
: c Ponto_de__pedido_do_CD =
750*Tempo_de__reposi <o_do_pedido_do_CD+ 2* 390+ 750
: c Intervalo_de_pedido_do_CD = 5
: c Lote_do_pedido__do_CD = Intervalo_de_pedido_do_CD* 750
: c Pedido_do_CD = if Estoque_CD< Ponto_de__pedido_do_CD then
Lote_do_pedido__do_CD else 0
: f Pedidos_entregue_pela_Fabrica =
delay(Pedido_do_CD,Tempo_de__reposi <o_do_pedido_do_CD,0)

```

```

: f Pedidos_entregue_pelo_CD =
delay(Pedido_da_Loja,Tempo_de__reposi  <o_do_pedido_da_loja,0)
: f pedidos_entregues_pela_loja = if
Estoque_Loja>= Grafico_da_demanda_Cliente_final then
Grafico_da_demanda_Cliente_final else Estoque_Loja
: s Demanda_Cliente_Final = 0
: s Pedidos_entregues_pelo_CD = 0
: s Demanda_n<o_atendida_CD = 1
: c Nivel_servi  o_CD =
Pedidos_entregues_pelo_CD/(Pedidos_entregues_pelo_CD+ Demanda_n<o_atendi
da_CD)
: s Entregas_para_o_cliente = 1
: s Demanda_n<o_atendida_Loja = 1
: c quebra_de_estoque_Loja = if
Estoque_Loja< Grafico_da_demanda_Cliente_final then 1 else 0
: c Nivel_de_servico_loja =
Entregas_para_o_cliente/(Demanda_n<o_atendida_Loja+ Entregas_para_o_client
e)
: f pedidos_n<o_atendidos_Loja =
quebra_de_estoque_Loja* (Grafico_da_demanda_Cliente_final-Estoque_Loja)
: c quebra_de_estoque_CD = if Estoque_CD< Pedido_da_Loja then 1 else 0
: f pedidos_n<o_atendidos_CD = quebra_de_estoque_CD
: f pedidos__entregues_pelo_CD = if Estoque_CD>= Pedido_da_Loja then
Pedido_da_Loja else Estoque_CD
: c Nivel_de_Cadeia_de_Suprimentos = Nivel_de_servico_loja* Nivel_servi  o_CD
: c Lead_time = (Estoque_Loja+ Estoque_CD)/750
: c Giro_de_estoque = 365/Lead_time

{ RUNTIME EQUATIONS }
: s Estoque_Loja(t) = Estoque_Loja(t - dt) + (Pedidos_entregue_pelo_CD -
pedidos_entregues_pela_loja) * dt
: s Estoque_CD(t) = Estoque_CD(t - dt) + (Pedidos_entregue_pela_Fabrica -
Pedidos_entregue_pelo_CD) * dt
: s Demanda_Cliente_Final(t) = Demanda_Cliente_Final(t - dt) +
(Grafico_da_demanda_Cliente_final) * dt

```

```

: s Pedidos_entregues_pelo_CD(t) = Pedidos_entregues_pelo_CD(t - dt) +
(pedidos__entregues_pelo_CD) * dt

: s Demanda_nºo_atendida_CD(t) = Demanda_nºo_atendida_CD(t - dt) +
(pedidos_nºo_atendidos_CD) * dt

: s Entregas_para_o_cliente(t) = Entregas_para_o_cliente(t - dt) +
(pedidos_entregues_pela_loja) * dt

: s Demanda_nºo_atendida_Loja(t) = Demanda_nºo_atendida_Loja(t - dt) +
(pedidos_nºo_atendidos_Loja) * dt

: f Grafico_da_demanda_Cliente_final = GRAPH(TIME)

(0, 740), (1.00558659218, 600), (2.01117318436, 910), (3.01675977654, 605),
(4.02234636872, 975), (5.02793296089, 605), (6.03351955307, 965),
(7.03910614525, 590), (8.04469273743, 965), (9.05027932961, 755),
(10.0558659218, 155), (11.061452514, 800), (12.0670391061, 575),
(13.0726256983, 615), (14.0782122905, 870), (15.0837988827, 645),
(16.0893854749, 900), (17.094972067, 670), (18.1005586592, 910),
(19.1061452514, 290), (20.1117318436, 910), (21.1173184358, 730),
(22.1229050279, 610), (23.1284916201, 180), (24.1340782123, 395),
(25.1396648045, 405), (26.1452513966, 405), (27.1508379888, 405),
(28.156424581, 410), (29.1620111732, 940), (30.1675977654, 410),
(31.1731843575, 415), (32.1787709497, 415), (33.1843575419, 125),
(34.1899441341, 420), (35.1955307263, 85), (36.2011173184, 420),
(37.2067039106, 105), (38.2122905028, 420), (39.217877095, 420),
(40.2234636872, 420), (41.2290502793, 95), (42.2346368715, 420),
(43.2402234637, 420), (44.2458100559, 420), (45.251396648, 140),
(46.2569832402, 420), (47.2625698324, 725), (48.2681564246, 795),
(49.2737430168, 840), (50.2793296089, 855), (51.2849162011, 860),
(52.2905027933, 810), (53.2960893855, 395), (54.3016759777, 615),
(55.3072625698, 790), (56.312849162, 80), (57.3184357542, 780),
(58.3240223464, 770), (59.3296089385, 95), (60.3351955307, 765),
(61.3407821229, 765), (62.3463687151, 755), (63.3519553073, 155),
(64.3575418994, 745), (65.3631284916, 740), (66.3687150838, 510),
(67.374301676, 740), (68.3798882682, 75), (69.3854748603, 735),
(70.3910614525, 730), (71.3966480447, 210), (72.4022346369, 715),
(73.4078212291, 705), (74.4134078212, 95), (75.4189944134, 690),
(76.4245810056, 685), (77.4301675978, 95), (78.4357541899, 655),
(79.4413407821, 645), (80.4469273743, 70), (81.4525139665, 640),
(82.4581005587, 635), (83.4636871508, 615), (84.469273743, 610),
(85.4748603352, 620), (86.4804469274, 100), (87.4860335196, 935),
(88.4916201117, 805), (89.4972067039, 805), (90.5027932961, 125),
(91.5083798883, 805), (92.5139664804, 805), (93.5195530726, 555),
(94.5251396648, 785), (95.530726257, 760), (96.5363128492, 960),
(97.5418994413, 730), (98.5474860335, 500), (99.5530726257, 700),
(100.558659218, 930), (101.56424581, 380), (102.569832402, 660),

```

(103.575418994, 655), (104.581005587, 80), (105.586592179, 650),
(106.592178771, 925), (107.597765363, 430), (108.603351955, 975),
(109.608938547, 965), (110.61452514, 650), (111.620111732, 955),
(112.625698324, 95), (113.631284916, 670), (114.636871508, 675),
(115.642458101, 75), (116.648044693, 445), (117.653631285, 445),
(118.659217877, 585), (119.664804469, 970), (120.670391061, 520),
(121.675977654, 490), (122.681564246, 765), (123.687150838, 440),
(124.69273743, 145), (125.698324022, 770), (126.703910615, 465),
(127.709497207, 140), (128.715083799, 470), (129.720670391, 780),
(130.726256983, 375), (131.731843575, 420), (132.737430168, 350),
(133.74301676, 355), (134.748603352, 335), (135.754189944, 420),
(136.759776536, 270), (137.765363128, 170), (138.770949721, 780),
(139.776536313, 405), (140.782122905, 425), (141.787709497, 390),
(142.793296089, 145), (143.798882682, 715), (144.804469274, 705),
(145.810055866, 970), (146.815642458, 680), (147.82122905, 930),
(148.826815642, 50), (149.832402235, 430), (150.837988827, 670),
(151.843575419, 340), (152.849162011, 670), (153.854748603, 670),
(154.860335196, 70), (155.865921788, 670), (156.87150838, 675),
(157.877094972, 690), (158.882681564, 690), (159.888268156, 880),
(160.893854749, 715), (161.899441341, 730), (162.905027933, 905),
(163.910614525, 745), (164.916201117, 940), (165.921787709, 760),
(166.927374302, 425), (167.932960894, 765), (168.938547486, 365),
(169.944134078, 770), (170.94972067, 470), (171.955307263, 770),
(172.960893855, 405), (173.966480447, 270), (174.972067039, 680),
(175.977653631, 775), (176.983240223, 665), (177.988826816, 690),
(178.994413408, 25), (180, 15)

: c Ponto_de__pedido_da_Loja =

750* Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja+ 2* 390+ 750

: c Lote_do_Pedido_da_Loja = Intervalo_de_pedido_da_loja* 750

: c Pedido_da_Loja = if Estoque_Loja< Ponto_de__pedido_da_Loja then
Lote_do_Pedido_da_Loja else 0

: c Ponto_de__pedido_do_CD =

750* Tempo_de__reposi <o_do_pedido_do_CD+ 2* 390+ 750

: c Lote_do_pedido__do_CD = Intervalo_de_pedido_do_CD* 750

: c Pedido_do_CD = if Estoque_CD< Ponto_de__pedido_do_CD then
Lote_do_pedido__do_CD else 0

: f Pedidos_entregue_pela_Fabrica =

delay(Pedido_do_CD,Tempo_de__reposi <o_do_pedido_do_CD,0)

: f Pedidos_entregue_pelo_CD =

delay(Pedido_da_Loja,Tempo_de__reposi <o_do_pedido_da_loja,0)

```

: f pedidos_entregues_pela_loja = if
Estoque_Loja >= Grafico_da_demanda_Cliente_final then
Grafico_da_demanda_Cliente_final else Estoque_Loja
: c Nivel_servi o_CD =
Pedidos_entregues_pelo_CD / (Pedidos_entregues_pelo_CD + Demanda_n o_atendi
da_CD)
: c quebra_de_estoque_Loja = if
Estoque_Loja < Grafico_da_demanda_Cliente_final then 1 else 0
: c Nivel_de_servico_loja =
Entregas_para_o_cliente / (Demanda_n o_atendida_Loja + Entregas_para_o_client
e)
: f pedidos_n o_atendidos_Loja =
quebra_de_estoque_Loja * (Grafico_da_demanda_Cliente_final - Estoque_Loja)
: c quebra_de_estoque_CD = if Estoque_CD < Pedido_da_Loja then 1 else 0
: f pedidos_n o_atendidos_CD = quebra_de_estoque_CD
: f pedidos__entregues_pelo_CD = if Estoque_CD >= Pedido_da_Loja then
Pedido_da_Loja else Estoque_CD
: c Nivel_de_Cadeia_de_Suprimentos = Nivel_de_servico_loja * Nivel_servi o_CD
: c Lead_time = (Estoque_Loja + Estoque_CD) / 750
: c Giro_de_estoque = 365 / Lead_time

```

```
{ TIME SPECS }
```

```
STARTTIME= 0
```

```
STOPTIME= 180
```

```
DT= 1.00
```

```
INTEGRATION= EULER
```

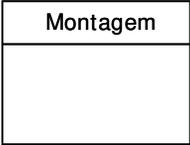
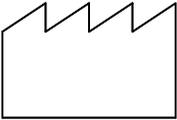
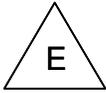
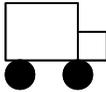
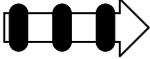
```
RUNMODE= NORMAL
```

```
PAUSEINTERVAL= INF
```

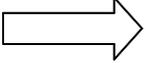
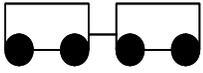
ANEXOS

ANEXO A: LEGENDAS UTILIZADAS PARA O MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR

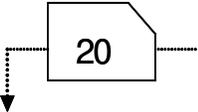
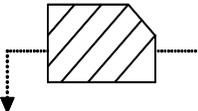
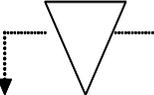
ANEXO A: LEGENDAS UTILIZADAS PARA O MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR

Ícones de Materiais para Mapeamento de Fluxo de Valor	Representa	Notas				
	Processo de Produção	Uma caixa de processo equivale a uma área de fluxo. Todos os processos devem ser identificados. Também usado para departamentos como o de Controle da Produção.				
	Fontes Externas	Usado para mostrar clientes, fornecedores e processos de produção externos.				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">T/C = 45 segundos</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">T/R = 30 minutos</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">2 Turnos</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">2% Refugo</td></tr> </table>	T/C = 45 segundos	T/R = 30 minutos	2 Turnos	2% Refugo	Caixas de Dados	Usado para registrar informações relativas a um processo de manufatura, departamento, cliente, etc.
T/C = 45 segundos						
T/R = 30 minutos						
2 Turnos						
2% Refugo						
	Estoque	Quantidade e tempo devem ser anotados.				
	Entrega por Caminhão	Anotar a frequência de entregas.				
	Movimento de materiais da produção por <u>EMPURRADA</u>	Material que é produzido e movido para frente antes do processo seguinte precisar; geralmente baseado em uma programação.				

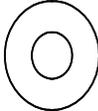
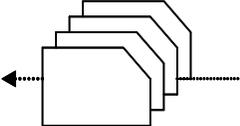
Fonte: Fontanini (2004)

Ícones de Materiais para Mapeamento de Fluxo de Valor	Representa	Notas
	Movimento de produtos acabados para o cliente	Uma caixa de processo equivale a uma área de fluxo. Todos os processos devem ser identificados. Também usado para departamentos como o de Controle da Produção.
	Supermercado	Um estoque controlado de peças que é usado para a programação da produção em um processo anterior.
	Retirada	Puxada de materiais, geralmente de um supermercado.
<p>Máx. 20 peças</p> <hr/> <p>— FIFO —</p> <hr/>	Transferência de quantidade controladas de material entre processos em uma seqüência “primeiro a entrar - primeiro a sair”	Indica um dispositivo para limitar a quantidade e garantir o fluxo de material (FIFO) entre os processos. A quantidade máxima deve ser anotada.
	Entrega por Avião	Anotar a freqüência de entregas.
	Entrega por Trem	Anotar a freqüência de entregas.

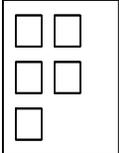
Fonte: Fontanini (2004)

Ícones de Informação para Mapeamento de Fluxo de Valor	Representa	Notas
	Fluxo de informação manual	Por exemplo: programação da produção ou programação da entrega
	Fluxo de informação eletrônico	Por exemplo via "Troca Eletrônica de Dados"
	Informação	Descreve um fluxo de informação
	Kanban de Produção (linhas pontilhadas indicam a rota do kanban)	O kanban "um por container". Um Cartão ou dispositivo que avisa um processo quanto do que pode ser produzido e dá permissão para fazê-lo.
	Kanban de Retirada	Um cartão ou dispositivo que instrui o movimentador de material para obter e transferir peças (por exemplo: de um supermercado para o processo consumidor).
	Kanban de Sinalização	Kanban "um por lote". Sinaliza quando o ponto de reposição é alcançado e outrolote precisa ser produzido. Usado quando o processo fornecedor deve produzir em lotes por causa de trocas necessárias.

Fonte: Fontanini (2004)

Ícones de Informação para Mapeamento de Fluxo de Valor	Representa	Notas
	Bola para puxada seqüenciada	Dá instrução para produzir imediatamente uma quantidade e tipo pré-determinado, geralmente uma unidade. Um sistema puxado para processos de submontagem sem usar um supermercado.
	Posto de kanban	Local onde o kanban é coletado e mantido para transferência.
	Kanban chegando em lotes	
	Nivelamento de carga	Ferramenta para interceptar lotes de kanban e nivelar o seu volume e mix por um período de tempo.
	Programação da produção "vá ver"	Ajuste da programação com base na verificação dos níveis de estoques.
	Informação enviada por telefone	Anotar a freqüência dos pedidos.

Fonte: Fontanini (2004)

Ícones Gerais para Mapeamento de Fluxo de Valor	Representa	Notas
	Necessidade de Kaizen	Destaca as melhorias necessárias em processos específicos que são fundamentais para se chegar ao fluxo de valor desejado. Pode ser usada para planejar os workshops kaizen.
	Estoque de segurança ou Pulmão	“Pulmão” ou “Estoque de segurança” devem ser anotados.
	Operador	Representa uma pessoa vista de cima.
	Expedição	Representa expedição do material para o cliente, ou próxima etapa.
	Obra	

Fonte: Fontanini (2004)