

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGE

Organização e Gerenciamento de Frota e Terminais em empresas de Transporte de Carga através de Modelos de Pesquisa Operacional

Carlos Eduardo Papaléo Panitz

Orientador: Luis Antônio Lindau

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Porto Alegre, Dezembro de 1996

Dissertação apresentada à banca examinadora:

Luis Antônio Lindau, PhD
Professor Orientador - Presidente

Antônio Galvão Novaes, PhD
Professor Examinador - PPGEP/UFSC

Bernardo de Castilho, PhD
Professor Examinador - PPGEP/UFRGS

João Luiz Becker, PhD
Professor Examinador - PPGA/UFRGS

Sumário

Abstract	1
Resumo	2
Agradecimentos	3
Capítulo 1	4
1.1. Introdução	4
1.2. Objetivos	14
1.3. Justificativas	15
1.4. Suposições para realização do estudo	15
1.5. Método de estudo	16
1.6. Escopo do trabalho	17
Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica	18
2.1. Apresentação	18
2.2. Definições para logística	19
2.3. O escopo da logística	22
2.4. Abordagens existentes para problemas de logística	24
2.5. Apresentação de ferramentas de modelagem existentes	26
2.5.1. modelos macroscópicos	26
2.5.2. Projeto de experimentos	30
2.5.3. Modelos heurísticos	32
2.5.4. Simulação computacional	33
Capítulo 3 - Consideração sobre o uso de uma abordagem hierarquizada	40
3.1. Apresentação	40
3.2. O tratamento de problemas complexos	41
3.3. Considerações sobre o uso de uma abordagem hierarquizada	41
3.4. Generalização de um modelo hierárquico de suporte à decisão	45
Capítulo 4 - Estudo de caso	48
4.1. Apresentação	48
4.2. Montagem do estudo de caso	49
4.3. Caracterização das atividades da empresa	50
4.3.1. Operação da rede de transporte	50
4.3.2. Interface terminal/rede de transporte	53

4.3.3. Terminal de transbordo e armazenagem	54
4.4. Níveis de decisão e variáveis relacionadas	55
4.4.1. Gerenciamento da rede de transporte	55
4.4.2. Operação de Interface entre o terminal e a rede de transporte	55
4.4.3. Operações do terminal	56
4.5. Primeiro nível do modelo: processamento de cargas	57
4.5.1. Mapeamento do processo do terminal	58
4.5.2. Parâmetros que determinam a duração das operações	60
4.5.3. Operação de Descarga	61
4.5.4. Operação de Pré-Classificação	63
4.5.5. Operação de Classificação	65
4.5.6. Análise de cenários através das funções estimadas	66
4.5.7. Considerações quanto ao uso das funções	75
4.6. Segundo nível do modelo: Interface terminal/rede	77
4.6.1. Montagem de um modelo conceitual simplificado	81
4.6.2. Modelagem computacional	83
4.6.3. Validação do modelo	85
4.6.4. Cenários analisados	88
4.6.5. Execução da simulação para obtenção dos resultados	89
4.6.6. Considerações finais	93
4.7. Terceiro nível do modelo: Análise da rede de distribuição	94
4.7.1. Apresentação do modelo macroscópico	94
4.7.2. Aplicação do modelo	104
Capítulo 5 - Conclusões	110
5.1. Aplicação de modelos de Pesquisa Operacional no gerenciamento de terminais de empresas de transporte de carga	112
5.2. Propostas para estudos futuros	113
Referências bibliográficas	115
Anexos	119

Lista de figuras

Capítulo 1

figura 1.1. Custos Logísticos totais de suprimentos da DELCO para as plantas de motagem da GM para diversas estratégias	6
gráfico 1.1. Distribuição acumulada dos respondentes por nº de fornecedores	7
gráfico 1.2. Requisitos para a operação Just-in-Time	8
gráfico 1.3. Atividades relacionadas com a área de suprimentos que tem condições de receber melhorias significativas	9
gráfico 1.4. Fatores do sistema de distribuição que podem receber melhorias	10
gráfico 1.5. Formas de utilização mencionadas para EDI	11
gráfico 1.6. Formas de utilização mencionadas para código de barras	11
figura 1.2. Escopo da dissertação	17

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

figura 2.1. Níveis de atuação da logística	20
figura 2.2. Possíveis estratégias de distribuição	27
gráfico 2.1. Resultado das 4 estratégias de distribuição	28
figura 2.3. Caminhos para estudar um sistema	34
figura 2.4. Elementos básicos de uma simulação	35
figura 2.5. Trade-off entre flexibilidade de modelagem versus domínio de ferramentas de programação	37

Capítulo 3 - Consideração sobre o uso de uma abordagem hierarquizada

figura 3.1. Subsistemas do processo a ser analisado	43
figura 3.2. Abordagem hierarquizada para o problema	43
figura 3.3. Estrutura hierarquizada para abordagem de problemas de logística	44
figura 3.4. Modelo de análise hierarquizada para modelagem de problemas logísticos	47

Capítulo 4 - Estudo de caso

figura 4.1. Rede de coleta e entrega em zonas urbanas	51
figura 4.2. Configuração das operações da empresa sob o ponto de vista da rede logística	52
figura 4.3. Fluxograma do processo de recepção de cargas	58

figura 4.4. Fluxograma do processo de carregamento de cargas	59
figura 4.5. Esquema global do processo de cargas no terminal	60
gráfico 4.1. Resíduos da função unitização da carga em paletes ou gaiolas	62
gráfico 4.2. Resíduos da função deslocamento da carga unitizada	63
gráfico 4.3. Resíduos da função pré-classificação da carga	64
gráfico 4.4. Resíduos da função classificação	66
gráfico 4.5. Redução % de horas-homem no processo quando a carga é unitizada	68
gráfico 4.6. Redução % de horas-homem no processo quando a carga é roteirizada	69
gráfico 4.7. Redução % de horas-homem no processo quando a carga é marcada	69
figura 4.6. Operações beneficiadas com a unitização de carga por destino	71
figura 4.7. Ocupação da capacidade em veículos com carga solta e unitizada	71
figura 4.8. Operações beneficiadas com a unitização de carga	72
gráfico 4.8. trade-off custos de terminal versus de transporte para diversas situações de acondicionamento	74
gráfico 4.9. análise de sensibilidade do ponto de quebra, em termos de número de viagens para diversas alturas de unitização	75
figura 4.9. Efeito dos atrasos nos horários de chegada e dos tempos de descarga	78
figura 4.10. Fluxograma geral de operação das carretas	81
figura 4.11. Fluxograma lógico da operação das carretas na filial Porto Alegre	84
figura 4.12. Representação do modelo de simulação	85
gráfico 4.10. Comparação entre os dados observados e simulados para o tempo de processamento	87
gráfico 4.11. Comparação entre os dados observados e simulados para o tempo de espera dos veículos	88
gráfico 4.12. Redução dos tempos de processamento decorrentes da unitização e roteirização da carga	90
gráfico 4.13. Redução dos tempos de processamento decorrentes aceleração do processamento das cargas	90
gráfico 4.14. Percentual de carretas que podem sair com atraso x número de carretas extras	92
figura 4.13. Representação gráfica do modelo para determinação do número ótimo de terminais	95

figura 4.14. Elementos para dedução da fórmula do menor percurso para o atendimento de n pontos em uma região de área A	98
figura 4.15. Representação gráfica dos componentes de uma rota de coleta e entrega	99
figura 4.16. Coleta e entrega dentro de uma mesma região	100
figura 4.17. Representação gráfica do modelo para determinação do número ótimo de terminais	103
figura 4.18. Mapa de localização das unidades da empresa nos estados RS, SC, PR e SP	105
gráfico 4.16. Custos logísticos médios totais para diversos números de terminais de transbordo	106
gráfico 4.17. Custos logísticos médios totais para várias quantidades de pontos de demanda (N)	107
gráfico 4.18. Custos logísticos médios totais versus tempos de descarga para índices de utilização de 90 e 100% da capacidade de carga do veículo	108

Abstract

This study discuss the application of Operations Research models as a background for Operations Management and analysis of technologies in Freight Transportation Companies. First, it is defined the scope of this study over the competitive market that companies are facing nowadays. This introduction has the objective to establish the links between the current operations and the models that will be presented. It is also made a discussion about some definitions of logistics. Then are made a revision of modeling tolls that are usually applied to solve problems involving phisical distribution, supply and inventory. After this revision it is proposed na hierarchical approach to deal logistical problems. Finally a case study is built in a freight company to verify the potential advantages of this approach to modeling logistical problems and the benefits in terms of improvment for the decision making process.

Resumo

Este trabalho discute a aplicação de modelos de Pesquisa Operacional como base para o gerenciamento de operações e análise de tecnologias em empresa de transporte de carga. Inicialmente, busca-se contextualizar o escopo deste trabalho dentro do ambiente competitivo atual a fim de que sejam percebidas as conexões entre os sistemas de operações vigentes e os modelos apresentados. Também é feita uma discussão preliminar do conceito de logística, visto que este enseja uma série de acepções para o termo. Em seguida é apresentada uma revisão de algumas ferramentas de modelagem que usualmente são aplicadas a problemas de suprimento, distribuição e transbordo de produtos. Com base nesta revisão é proposta uma abordagem hierarquizada para o tratamento de problemas de logística. Um estudo de caso realizado em uma empresa de transporte de carga busca então aplicar algumas ferramentas de Pesquisa Operacional nos diversos níveis de gerenciamento de operações. Por fim, o trabalho verifica as potencialidades do uso de uma abordagem hierarquizada e a importância da adoção de modelos em empresas de transporte de carga como forma de alavancagem da sua competitividade frente as novas exigências do mercado.

Palavras-chave: logística, transporte, gerenciamento de operações.

Agradecimentos

Gostaria de prestar um agradecimento em especial para Bernardo de Castilho, cujo conhecimento prático e teórico associado ao seu entusiasmo pelo assunto propiciaram um aprendizado que transcendeu os limites deste trabalho.

Também quero prestar um agradecimento em especial aos professores dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP/UFRGS) e de Pós-Graduação em Administração (PPGA/UFRGS) com os quais tive a oportunidade de adquirir os subsídios indispensáveis para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e em especial aos meus familiares.

Capítulo 1

1.1. Introdução

Sob muitos aspectos a atividade transporte de carga tem experimentado significativas mudanças com respeito ao seu papel básico de transportar bens para atender uma determinada demanda. Justamente por ser o elo de ligação entre o setor produtivo e o mercado consumidor, as mudanças ocorridas no âmbito fabril, tecnológico e do mercado acabaram por repercutir também sobre a atividade transporte.

No setor produtivo, os esforços orientados para a eliminação de atividades que não agregam valor resultaram em diversas políticas e modelos de operação que buscam minimizar os custos de estocagem e perdas de uma forma geral. A estratégia de operar dentro de um sistema Just-In-Time, por exemplo, exigiu de muitos fornecedores qualidade assegurada dos itens, maior frequência e confiabilidade de entrega e, em alguns casos, a realocação da unidade fabril para as proximidades do cliente, de modo a aumentar o nível de serviço oferecido (PANITZ - 1995).

Da mesma forma, os mercados consumidores têm exigido da operação de distribuição física tempos de resposta cada vez menores e uma abrangência geográfica cada vez maior. A dimensão 'logística' do produto - estar no lugar certo, na quantidade requerida, na hora certa e ao menor custo possível - tem se tornado tão importante quanto suas características funcionais.

Em consequência destas mudanças, a atividade transporte está experimentando um novo desafio de adequar-se às necessidades de uma operação integrada das cadeias produtivas e de sistemas de distribuição com baixo tempo de resposta e baixos custos de operação. Hendrickson (1985) destaca que estes desafios devem levar o setor de transporte a explorar cada vez mais o uso de ferramentas de análise para o apoio à suas decisões. Contudo, como salienta Turnquist (1985), problemas logísticos envolvem questões tecnológicas e ações gerenciais, sendo portanto necessário um processo de aculturação e de integração dos níveis gerenciais das empresas com as tecnologias disponíveis atualmente.

A construção de modelos que permitam avaliar as diversas categorias de problemas de logística tem crescido significativamente nos últimos anos. Existem inúmeras razões para o aumento de interesse no uso de modelos de Pesquisa Operacional na área de logística:

- ◆ A percepção por parte das empresas de que problemas de logística envolvem necessariamente a busca de um objetivo mais amplo do que os esforços direcionados para ganhos locais;
- ◆ A oportunidade do uso da informática para solução de problemas tem se tornado cada vez mais acessível para as empresas. Esta oportunidade pode ser entendida sob dois aspectos: (1) pelo barateamento e aumento de capacidade do hardware; e (2) pelo surgimento de padrões que permitem a integração dos sistemas de informações de diversas organizações e de diversas áreas dessas (e.g. EDI FACT¹, DRP - Distribution Requirement Planning, código de barras);
- ◆ O desenvolvimento de modelos cada vez mais representativos das peculiaridades dos problemas reais (e.g. roteirizadores, sistemas de planejamento de necessidade de distribuição, modelos de simulação);
- ◆ A crescente preocupação com o gerenciamento da cadeia de suprimentos (SCM - Supply Chain Management), visto que a competitividade de um produto não é apenas função da agregação de valor ao final da cadeia, mas sim ao longo de toda ela;
- ◆ A crescente preocupação com o nível de serviço e o tempo de resposta ao mercado. Conceitos como o QR (Quick Response) e o ECR (Efficient Consumer Response) são resultado desta percepção.

Empresas de transporte de carga orientadas por esta realidade percebem cada vez mais que o “verdadeiro objetivo dos meios de locomoção não é a redução dos custos dos transportes e sim dos custos totais da produção²”. Exemplos desta visão integrada entre os objetivos de redução dos custos de produção de uma cadeia produtiva e a forma de organização da atividade transporte podem ser visto em diversos casos recentes, dentro e fora do Brasil. Um dos exemplos precursores de uma abordagem integrada dos problemas

¹O padrão EDI FACT (Eletronic Data Interchange For Administration, Commerce and Transportation) é um padrão de formatação de arquivo de dados desenvolvido pela ONU com o intuito de unificar o formato das informações transacionais que ocorrem entre duas empresas através de EDI.

²citado por Rangel *in op.* ODIER - 1970.

logísticos foi o desenvolvido pelo ‘Transportation Research Department’ da General Motors junto com pesquisadores da Universidade de Berkeley (BLUMENFELD *et. al.* - 1987). Através da análise integrada dos custos logísticos incorridos no suprimento de itens produzidos por uma de suas controladas (DELCO) foram desenvolvidos modelos analíticos para a análise do *trade-off* custo de transporte *versus* custos de inventário e posteriormente analisadas diversas estratégias de suprimento para as plantas de montagem da GM.

As estratégias definidas contemplaram análise da forma de alocação dos veículos (direta, roteirizada e consolidada via terminal) conjuntamente com a determinação do tamanho da carga para cada ponto de demanda da rede (via modelo adaptado do lote econômico). A implantação dos resultados obtidos pelo modelo integrado permitiu à GM reduzir em 26% os seus custos logísticos com este fornecedor. Os resultados obtidos estão apresentados na figura 1.1. As áreas claras do gráfico representam o custo de transporte e as áreas escuras o custo de inventário de cada uma das estratégias.

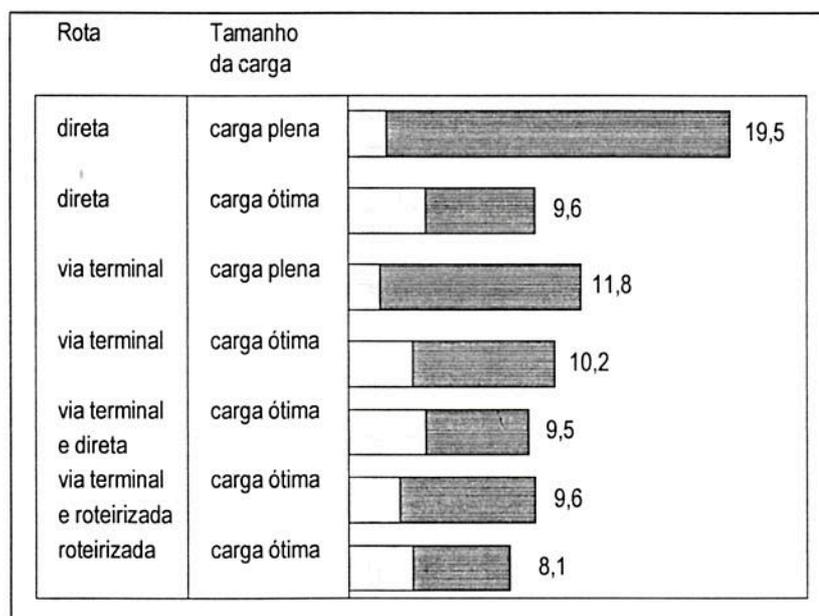


Figura 1.1 - Custos logísticos totais de suprimentos da DELCO (US\$ milhões por ano) para as plantas de montagem da GM para diversas estratégias (fonte Blumenfeld *et. al.* - 1987)

Um trabalho desenvolvido pela FIAT do Brasil (Transporte Moderno - março de 1995) está permitindo uma mudança significativa na forma de operação da cadeia de suprimentos. A aproximação da cadeia de suprimentos (em 1995, 46% do valor dos

estoques estava dentro de um raio de 50 Km da fábrica), a redução do número de fornecedores e a utilização de EDI entre a empresa, os fornecedores e as transportadoras têm permitido à empresa equacionar o *trade-off* custo de transporte *versus* custos de inventário em níveis jamais imaginados. Caso semelhante está acontecendo com a Volkswagen em suas unidades de Rezende e Taubaté e com a Springer/Carrier no Rio Grande do Sul.

Um retrato da logística no Rio Grande do Sul

Uma pesquisa realizada no Rio Grande do Sul entre os anos de 1995 e 1996 (PANITZ - 1996) com empresas do setor industrial mostrou que neste estado a configuração das cadeias produtivas é bastante dispersa, tanto do ponto de vista da disposição geográfica dos fornecedores como do ponto de vista do número de fornecedores que abastecem as plantas industriais. Apesar de amostrar contemplar apenas 30 empresas de médio e grande porte, seus resultados são um indicativo de alguns aspectos importantes quanto a forma de operação das cadeias produtivas no estado.

Com respeito à disposição geográfica dos fornecedores 48% indicaram que a maioria dos fornecedores estavam localizados a mais de 600 Km de distância.

As empresas pesquisadas apresentaram um número mediano de 240 fornecedores (gráfico 1.1), 25% da amostra apresentou um número de fornecedores igual ou inferior a 100 e 25% da amostra apresentou um número de fornecedores igual ou superior a 550.

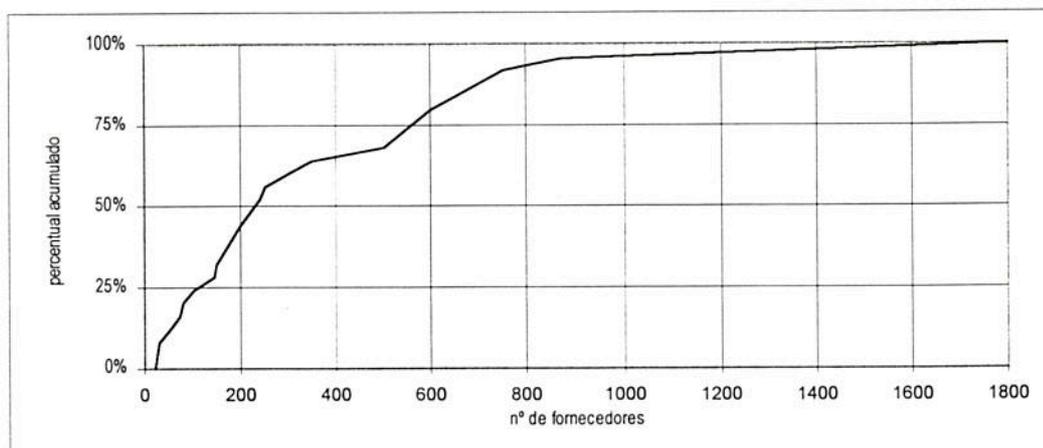


Gráfico 1.1 - Distribuição acumulada dos respondentes por número de fornecedores

Buscou-se investigar junto às empresas que operavam dentro de um sistema Just-in-Time quais eram os requisitos mais importantes para implementar este sistema junto a um fornecedor (gráfico 1.2).

O fator que apareceu em primeiro lugar foi a garantia de qualidade assegurada, com 39%. O bom relacionamento com o fornecedor recebeu 25% das indicações. Por último foram indicados os critérios proximidade do fornecedor e valor dos insumos transportados com 18% para cada um destes. Foi verificada ainda uma correlação de 0,58 entre os fatores ‘proximidade dos fornecedores’ e ‘bom relacionamento’.

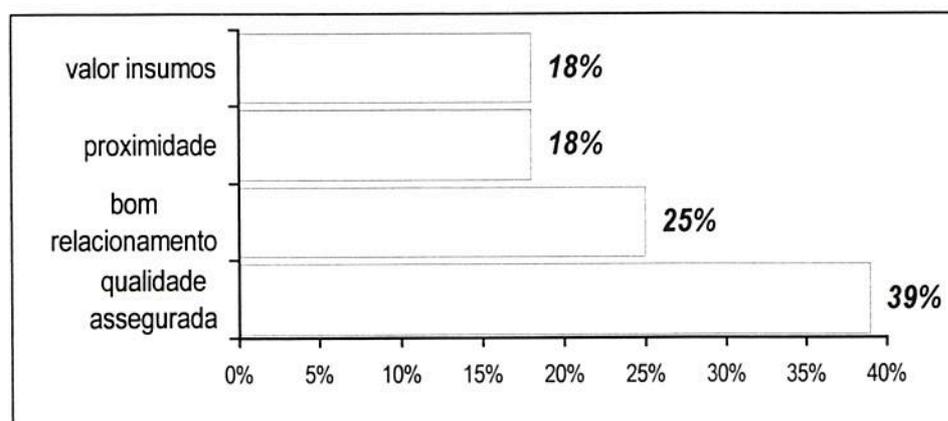


Gráfico 1.2 - Requisitos para a operação Just-in-Time com os fornecedores

Apesar da maioria das empresas terem atribuído elevado peso para a atividade suprimento (4 dentro de uma escala de 1 a 5), como sendo um elemento estratégico para as atividades fins da empresa, o baixo percentual de menções a variáveis ‘valor dos insumos’ e ‘proximidade dos fornecedores’ indica que poucas empresas têm conseguido adotar enfoque quantitativo para discussão dos benefícios da operação Just-In-Time.

Foi perguntado às empresas quem realizava as atividades de transporte de suprimentos e distribuição da empresa. Oitenta e nove por cento dos respondentes indicaram que a empresas contratavam transportadoras para a área de suprimentos. Quarenta e seis por cento indicaram que também utilizavam frota própria para transportar os insumos e cinqüenta e sete por cento indicaram que o transporte era feito também pelos fornecedores.

Para a distribuição física de produtos, 86% dos respondentes contratavam transportadoras e 32% mencionaram que, em alguns casos, utilizavam conjuntamente frota própria.

Ainda com respeito à atividade transporte foi constatado que dentre os fatores tempo de atendimento, custo e confiabilidade, este último foi considerado o mais importante para as empresas que contratam este serviço.

Para identificar sobre quais atividades pertencentes ao escopo da área de suprimento os respondentes acreditavam que poderiam ser obtidas melhorias expressivas, foram apresentadas 5 alternativas (gráfico 1.3). Dentre as alternativas propostas, o esforço para melhorar o gerenciamento de estoques recebeu o maior percentual individual (32,1%). Cinquenta e sete por cento dos respondentes consideraram que poderiam ser implementadas melhorias sobre todas as atividades relacionadas com a área de suprimentos (estoques, movimentação e armazenagem e transporte entre a empresa e o fornecedor).

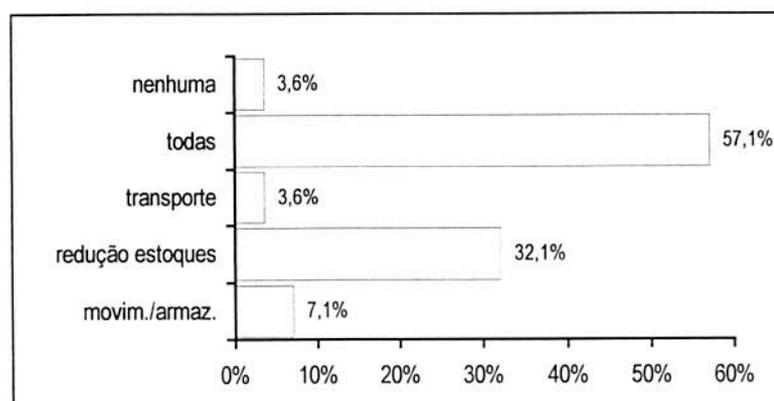


Gráfico 1.3 - Atividades relacionadas com a área de suprimentos que tem condições de receber melhorias significativas.

Também foi investigada a importância estratégica do sistema de distribuição física da empresa. O valor mediano obtido também foi de 4 pontos.

Para investigar se os respondentes acreditavam ser possível a implementação de melhorias sobre o sistema de distribuição física, foram apresentadas 3 alternativas (ver gráfico 1.4).

Cerca de 50,0% dos respondentes mencionaram que poderiam ser implementadas melhorias sobre a velocidade de atendimento dos pedidos e 17,8% consideraram que

poderiam ser efetuadas melhorias sobre o custo e a confiabilidade do serviço de transporte. Foi observado ainda que 17,8% dos respondentes consideraram que ambos os fatores eram passíveis de receberem melhorias. Apenas 14,4% não acreditam que possam ser obtidos ganhos sobre o sistema de distribuição da empresa.

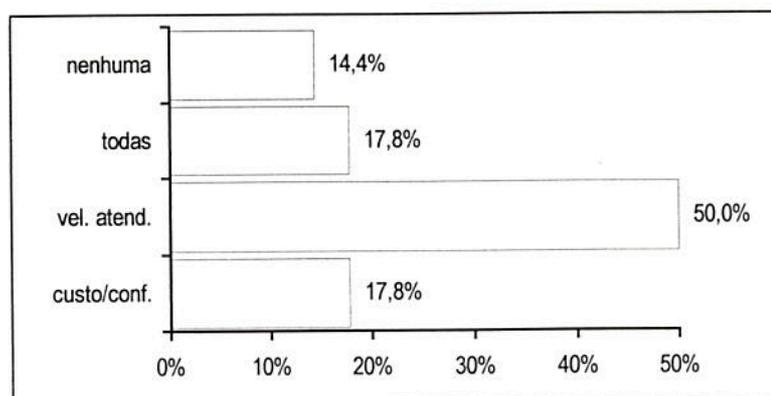


Gráfico 1.4 - Fatores do sistema de distribuição que podem receber melhorias

Com respeito a algumas tendências emergentes na área de logística, foi perguntado aos respondentes se suas empresas utilizavam sistemas de transmissão eletrônica de dados (EDI) e identificação de itens através de código de barras.

Para a primeira questão foi observado que 53,6% das empresas não utilizam nenhuma modalidade de transmissão eletrônica de dados. Das empresas que utilizam esse recurso (ver gráfico 1.5), os sistemas de cobrança eletrônica oferecido pelos bancos é o mais freqüente (92%). Cerca de 23% das empresas que utilizam EDI adotam esta tecnologia com pelo menos um de seus fornecedores. Com clientes o percentual é de 15% e com transportadoras o percentual é de 8% .

Uma pesquisa realizada pela Northeastern University (citada por MACKEY - 1992) apontou que, em empresas que operam dentro do sistema JIT, 45% delas adotam EDI com seus clientes, 33% adotam EDI com os fornecedores e 26% adotam com o transportador. Apesar dos percentuais serem diferentes da pesquisa realizada no Rio Grande do Sul, a última colocação no uso de EDI entre empresas e transportadores é uma constante.

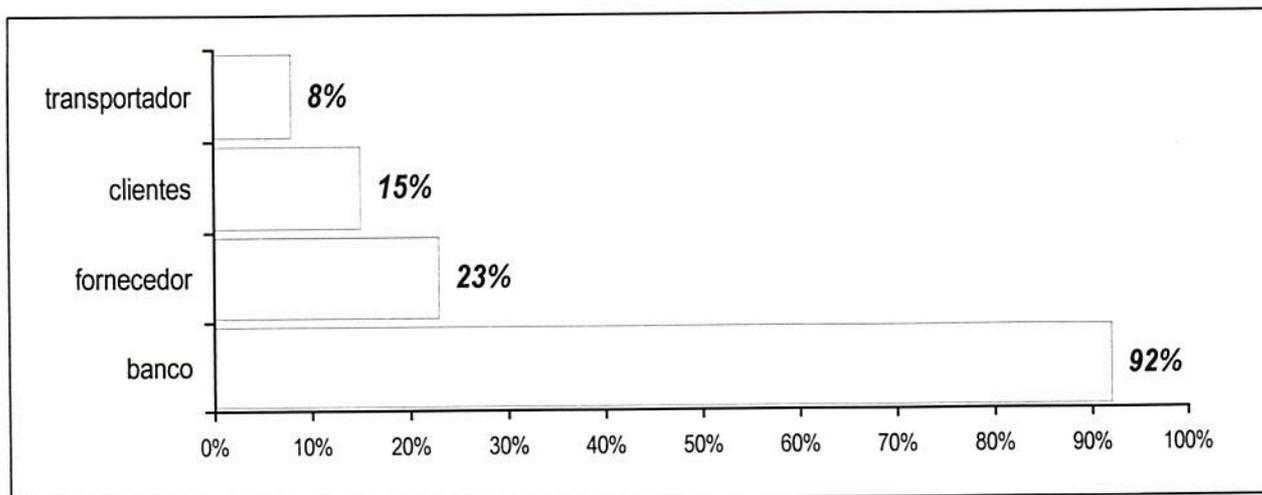


Gráfico 1.5 - Formas de utilização mencionadas pelas empresas que utilizam EDI

Para a segunda questão - código de barras - foi observado que 64% das empresas do estado não utilizam este sistema de identificação e controle de itens. Das empresas que utilizam código de barras (ver gráfico 1.6), esta aplicação concentra-se basicamente nos produtos finais (90%).

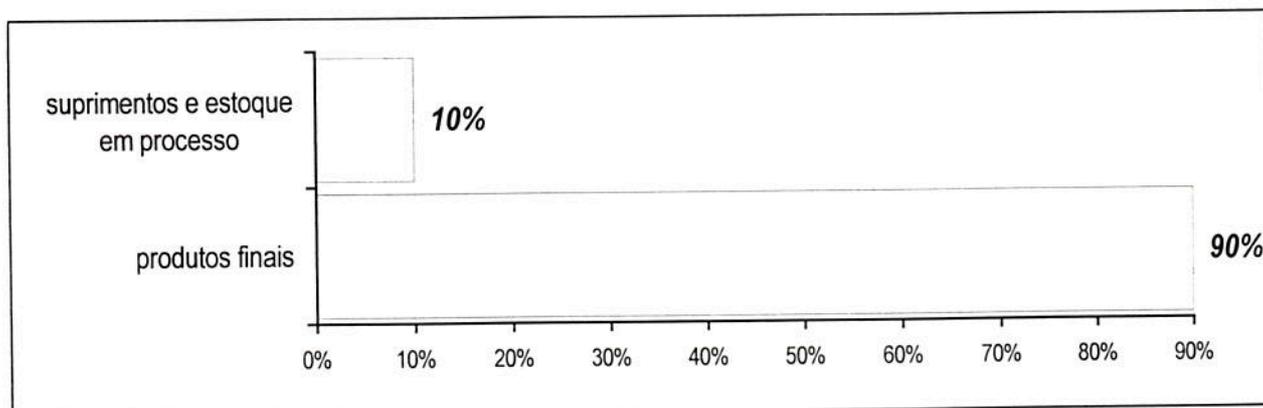


Gráfico 1.6 - Formas de utilização mencionadas pelas empresas que utilizam código de barras

Concluiu-se portanto que, com respeito a tecnologias emergentes, tais como EDI e sistemas de código de barras, as empresas do RS ainda experimentam um estágio bastante incipiente de utilização.

Um ‘WorkShop Report’ intitulado Fundamental Research on Logistic Systems³ apontou que “tecnologias emergentes como o EDI (Eletronic Data Interchange) e a

³Transportation Research, (1985) Vol. 19A, N° 5/6, pp. 381.

utilização de código de barras potencializam saltos tão expressivos para o gerenciamento de estoques a para a operação de frotas de suprimento e distribuição de mercadorias como foi a linha de montagem para produção em 1920 e a refrigeração para a distribuição de produtos perecíveis nas décadas de 40 e 50”.

Dentro deste ambiente tomado por tantas mudanças, o setor de transporte de cargas deve buscar transformar suas operações em fonte de vantagens competitivas. Cada uma das atividades que compõem o processo logístico (armazenagem, movimentação, montagens, gerenciamento de demanda e do fluxo de informações) tornam-se então, elementos chaves para a montagem de um modelo de operação que atenda as novas necessidades do mercado.

O uso e a avaliação de métodos de gestão e de tecnologias assumem o papel de integradores deste processo, permitindo um gerenciamento otimizado dos recursos disponíveis (pessoas, frota, terminais de transbordo e sistemas de informação).

Oportunidades de estudos na área de logística

As oportunidades de desenvolvimento na área de logística podem ser divididos em duas categorias (Fundamental Research on Logistic Systems: Workshop Report - 1985):

1. pesquisa dos problemas;
2. pesquisa dos métodos de abordagem.

Cada uma destas categorias pode ser dividida, por sua vez, em duas subcategorias. No caso da pesquisa quanto aos métodos pode-se classificá-la em abordagens que buscam soluções numéricas para problemas específicos (numéricas) e nas que buscam derivar princípios e adicionar o entendimento humano (analíticas).

Tanto as abordagens numéricas quanto as analíticas ainda podem ser divididas quanto ao seu caráter determinístico ou estocástico, otimizante ou aproximado. No caso da pesquisa quanto aos problemas, o escopo das pesquisa é bastante amplo. Algumas categorias de problemas apresentadas pela literatura na áreas da logística são:

- ◆ Integração entre transporte e produção;
- ◆ Configuração de redes (localização de plantas e centros de distribuição, sistemas de inventários hierárquicos);
- ◆ Alocação de veículos (considerando restrição de tempo, capacidade, urgência, acesso);
- ◆ Operação de terminais de transbordo e de armazenagem;
- ◆ Triagem, acondicionamento e armazenagem;
- ◆ Seleção de 'mix' de veículos.

Em função da amplitude das categorias de problemas e das abordagens existentes, as discussões sobre cada uma destas categorias terá a intenção de oferecer uma visão geral quanto ao escopo e aos métodos empregados para tratamento dos problemas. Com base no objetivo desta dissertação e nas necessidades de aplicação de certos métodos no estudo de caso, algumas categorias de problemas serão discutidas com maior profundidade.

1.2. Objetivos

Os objetivos deste trabalho estão estratificados em dois níveis. O primeiro nível, denominado ‘objetivo principal’ está centrado na seguinte questão:

Análise das potencialidades do uso de uma abordagem integrada de análise para problemas de logística através da aplicação de modelos de Pesquisa Operacional nos diversos níveis de um sistema.

O segundo nível, denominado ‘objetivos secundários’ contempla questões mais focalizadas, todas porém, derivadas das discussões geradas pelo objetivo principal. Como objetivos secundários desta dissertação, pretende-se apresentar as seguintes discussões:

- ◆ Análise das potencialidades do uso de modelos de Pesquisa Operacional como base para um gerenciamento de operações de uma empresa de transporte de carga;
- ◆ Demonstrar a importância do desenvolvimento de modelos integrados que permitam avaliar as relações e os *trade-offs* que existem entre os diversos níveis de operação que compõem um sistema logístico.

1.3. Justificativas

A escolha do tema e a argumentação quanto a sua relevância foram baseadas na revisão de diversos trabalhos e estudos realizados nos campos da logística, pesquisa operacional, transporte e gestão de materiais. Diversos autores (Blumenfeld *et.al.* - 1987, Hendrickson - 1985, Schofer & Boyce - 1985, Hesckett - 1977, Bowersox - 1990, Mackey - 1992) destacam a crescente importância das atividades de distribuição física, suprimentos e transportes para que ocorra uma maior integração das cadeias produtivas e por conseguinte uma maior competitividade das mesmas.

Sob o ponto de vista da modelagem do problema, muitos autores (Daskin - 1985, Sheffi - 1985, Hall - 1985a, Burns *et.al.* 1985, Daganzo - 1991, Blumenfeld *et.al.* - 1985) denotam a necessidade de extensão de estudos de logística para análises integradas de diversas variáveis que usualmente são tratadas ou modeladas separadamente.

Neste sentido Daskin (1985) destaca de que a construção de ‘modelos logísticos integrados’ propicia uma boa compreensão dos *trade-offs* envolvidos no gerenciamento logístico.

1.4. Suposição para realização do estudo

A construção do estudo de caso dentro de uma empresa de transporte de carga, está embasado na seguinte suposição:

O tratamento de sistemas complexos que envolvem vários níveis de decisão pode ser feito através de uma modelagem hierarquizada do sistema, onde os dados de saída de um modelo servem como parte dos dados de entrada do modelo seguinte.

1.5. Método de estudo

Para realização desta dissertação, o método de trabalho adotado contemplou as seguintes etapas de trabalho:

1. Definição e elaboração de um projeto de dissertação;
2. Revisão teórica das seguintes áreas de interesse:
 - 2.1. *Conceituação de logística: Logística, transporte de carga, movimentação e armazenagem de materiais;*
 - 2.2. *Revisão de ferramentas de pesquisa operacional: modelos de regressão, programação linear, dinâmica, métodos analíticos, métodos heurísticos, simulação;*
3. Realização de um estudo de caso que permitisse construir um método integrado de análise e suporte à decisão. Para construção de tal método de abordagem, foram definidas etapas de acordo com as características de cada problema. De uma forma geral, essas etapas seguiram um modelo genérico de análise de problemas de pesquisa operacional apresentado por Winston (1994):
 - 3.1. *Formulação do problema;*
 - 3.2. *Observação do sistema;*
 - 3.3. *Modelagem matemática do problema;*
 - 3.4. *Verificação do modelo;*
 - 3.5. *Seleção de alternativas viáveis;*
 - 3.6. *Apresentação dos resultados para a organização;*
 - 3.7. *Implementação, avaliação e recomendações;*
4. Validação do método e considerações quanto a aplicabilidade do estudo de caso;
5. Conclusões, limitações do trabalho e propostas para futuras pesquisas na área.

1.6. Escopo do trabalho

A análise de um caso real possibilitou a aplicação de um conjunto específico de ferramentas para analisar um caso particular. Portanto, os passos seguidos no desenvolvimento do modelo utilizado não são passíveis de serem aplicados em outras situações sem a devida análise do contexto que cerca o problema.

Modelos integrados como o proposto neste trabalho são um campo muito vasto para a pesquisa e para a aplicação. Este trabalho limitou-se a demonstrar que várias ferramentas de pesquisa operacional podem ser utilizadas para o tratamento de problemas localizados e para a análise de alguns *trade-offs* que ocorrem entre as variáveis envolvidas.

Não foram feitas comparações com modelagens alternativas para o mesmo problema visto que o estudo de caso partiu de um problema prático que, pelo menos na literatura consultada, não possuía equivalente para comparação. Muitas das conclusões deste trabalho deverão ser entendidas dentro destes limites. Para situar os modelos utilizados dentro das áreas de estudo da logística foi feita uma classificação quanto ao horizonte de investimento (curto e longo prazo) e quanto à abrangência do problema. Neste quadro bidimensional (figura 1.2.) são apresentados os principais tipos de problemas e recursos envolvidos. As elipses em negrito delimitam os problemas abordados por esta dissertação.

	curto prazo	longo prazo
Macro-logístico	alocação de veículos: linhas diretas, roteirizadas ou consolidadas uso de EDI dimensionamento do terminal	intermodalidade localização de planta determinação do número de terminais
Micro-logístico	operações de interface terminal/rede código de barras unitização mudança sobre rotinas operacionais	automação dos sistemas de movimentação

Figura 1.2 - Escopo da dissertação

Capítulo 2 - Revisão bibliográfica

2.1. Apresentação

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica dos temas relacionados com os objetivos desta dissertação. Os tópicos deste capítulo estão divididos da seguinte maneira: (1) conceituação de logística e definição da sua abrangência; (2) revisão dos modelos e técnicas de análise utilizados e discutidos neste trabalho.

2.2. Definições para logística

O termo logística em sua acepção original - proveniente de Platão - referia-se à aritmética aplicada, a qual pretendia representar uma contraposição à chamada aritmética “teórica”. Já no século XIX, uma nova acepção para o termo foi criada, desta vez relacionada à arte da guerra. Por esta definição, logística referia-se a toda a atividade de planejamento das atividades de transporte, disposição e suprimento das tropas em operação. Os conceitos e as técnicas desenvolvidas para fins militares não demoraram muito para se tornarem acessíveis às empresas de uma forma geral.

Talvez por esta razão é que acabou surgindo uma nova definição para o termo logística, o qual o desvinculava do contexto militar para torná-lo mais genérico, a saber, logística é a organização de suprimentos e serviços de qualquer operação complexa. É a partir deste conceito genérico de logística que se pretende definir as expressões logística interna e logística externa.

Daganzo (1991) define logística como “a ciência que estuda como levar itens da produção ao consumo com o menor custo”. Este autor também destaca que sistemas logísticos usualmente incluem atividades como controle de inventário, manuseio e triagem dos itens.

Bowersox, Closs e Helferich (1986) definem logística como sendo “uma única lógica para guiar o processo de planejamento, alocação e controle financeiro e recursos humanos comprometidos com a distribuição física, suporte à manufatura e operações de compra”.

Daskin (1985) define logística como “o projeto e a operação física, gerencial e de sistemas de informações necessários para permitir que bens transponham o tempo e o espaço”.

No conceito de logística do Council of Logistics Management (citado por Bowersox, Closs e Helferich) de 1975 são mencionadas algumas atividades específicas que podem fazer parte do gerenciamento logístico tais como: prestação de serviços ao consumidor, previsão de demanda, sistemas de comunicações, controle de inventário,

movimentação de materiais, processamento de ordens, seleção de localização de plantas e depósitos, transporte e armazenagem.

O termo logística também é empregado para se referir a sistemas de produção. Nestes casos, é comum empregar a expressão 'logística interna'. Pode-se entender esta expressão como referindo-se a todas as atividades e recursos utilizados no gerenciamento e programação da produção. Por isto mesmo, a maioria dos trabalhos que reportam-se às atividades de gerenciamento e programação da produção acabam por utilizar termos mais específicos, tais como seqüenciamento, controle de inventário, sincronização da produção, etc. A figura 2.1 apresenta os dois níveis de fluxos de bens que são alvo de estudos na área de logística:

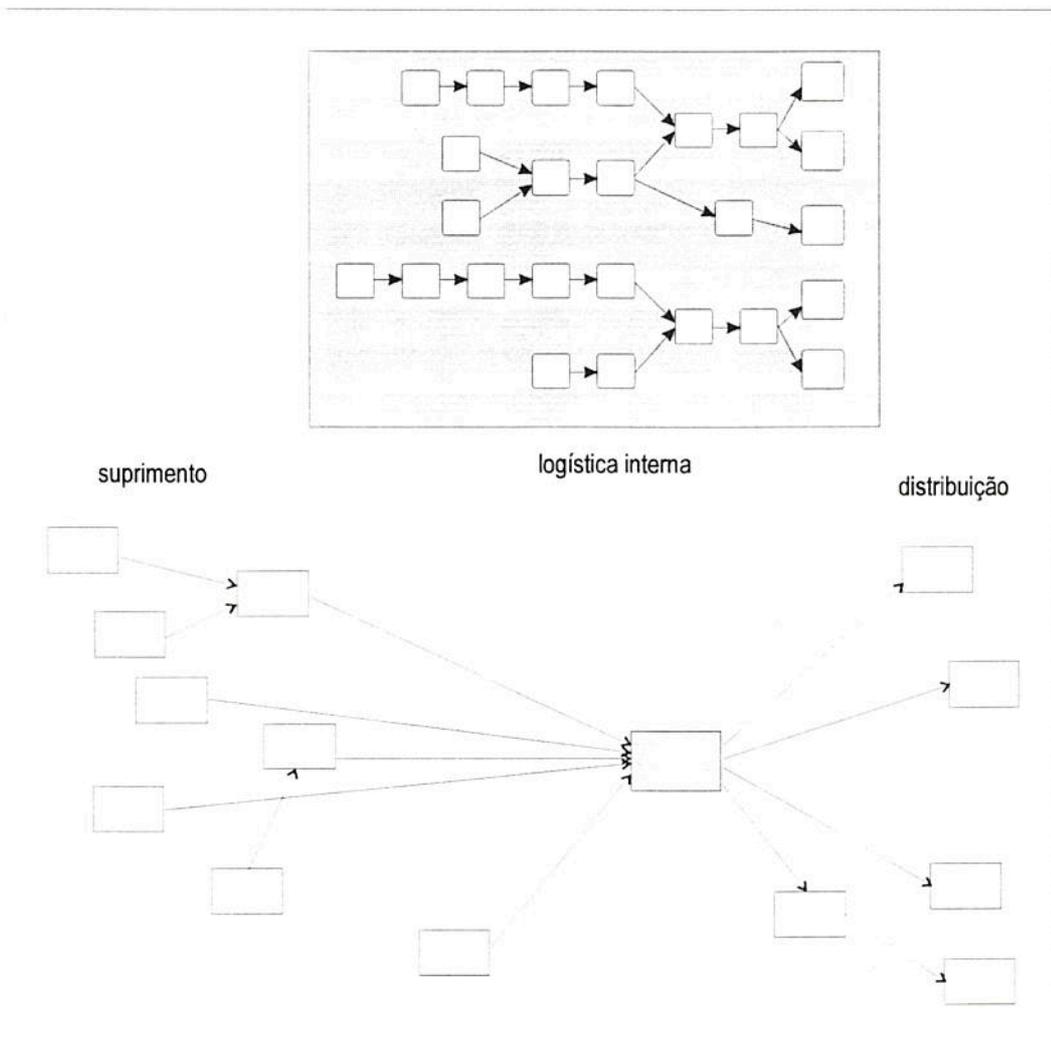


Figura 2.1. Níveis de atuação da logística

No primeiro nível (fluxos internos de uma planta fabril ou depósito de armazenagem) ocorrem movimentações de curta distância e geralmente existem diversos pontos de estocagem ao longo do processo. O problema de transporte, neste casos é resolvido através de estudos de *lay-out* e com o uso de equipamentos de movimentação apropriados como carrinhos, empilhadeiras, trans-elevadores e esteiras transportadoras. As estocagens ocorrem entre operações sucessivas, no caso de indústrias e em áreas de armazenagem adequadas às características dos itens e dos sistemas de movimentação empregados. O *trade-off* comumente encontrado neste nível relaciona custo de estocagem com custo de preparação de máquinas (*set-up*).

No segundo nível (rede de suprimentos ou distribuição) as movimentações ocorrem em veículos cujo roteiro depende da demanda que existe entre os pontos da rede e da forma de gerenciamento empregada para alocação dos mesmos (rotas fixas ou dinâmicas, com ou sem consolidação, etc.). Os estoques dependem das frequências de despachos e das taxas de produção e consumo existentes nos fabricantes e distribuidores, respectivamente. O *trade-off* comumente encontrado neste nível relaciona custo de estocagem com custo de transporte dos produtos.

2.3. O escopo da logística

Randolph Hall (1985a) buscou sintetizar o escopo das atividades logística a partir das seguintes questões:

1. Quando e onde um item deve ser produzido?
2. Quando e onde um item deve ser armazenado?
3. Quando e onde um item deve ser transportado?

Em todas as perguntas formuladas por Hall, aparece a palavra ‘quando’, que denota a dimensão temporal das decisões na área de logística. A alocação de recursos fora do tempo pode causar comprometimento de capital e de recursos desnecessariamente (estoques) ou a ruptura de processos de transformação ou transacionais. Por essa razão a definição do quando produzir, armazenar e transportar são críticas para a obtenção de um sistema logístico eficiente.

Da mesma forma, a palavra ‘onde’ dá a dimensão espacial do problema. A resposta a esta parte das perguntas remete a análise do problema de logística para questões como localização de plantas fabris, determinação do número e da localização de terminais de armazenagem e consolidação de carga e definição da forma de alocação da carga entre dos pontos de uma rede logística (de forma direta, consolidada ou roteirizada) e ainda em que tipo de veículo.

Trade-offs dos problemas logísticos

A importância de serem identificados e analisados os principais *trade-offs* existentes entre as variáveis de um sistema produtivo e um sistema logístico são de vital importância para que se alcance uma consistência entre os objetivos de uma cadeia produtiva ou de uma rede de distribuição, em termos de racionalização dos seus custos globais para produzir e disponibilizar um produto para o mercado.

Na busca desta consistência surgem vários *trade-offs* que devem ser analisados. Alguns destes envolvem exclusivamente o problema de transporte, como por exemplo:

- ◆ nível de serviço oferecido *versus* demanda por produto;
- ◆ entrega direta *versus* consolidação da carga via terminais ou veículos;

Existem também alguns *trade-offs* que buscam integrar os problemas de produção em armazenagem de produtos. Blumenfeld *et. al.* (1985) apresentam ainda uma formulação matemática que busca analisar alguns destes *trade-offs*:

- ◆ custo de transporte e de armazenagem *versus* custo de *setup*;
- ◆ custos de transporte *versus* custo de inventário;

Esta discussão é particularmente importante na medida em que relaciona de uma forma integrada um dos principais *trade-offs* de um sistema produtivo (*i.e.* custo de armazenagem *versus* custo de *setup*) com um dos principais *trade-offs* de logística (*i.e.* custo de transporte *versus* custo de armazenagem).

Estes autores enfatizam também que “para o caso em que a programação da produção e do transporte são sincronizados, o tamanho dos lotes nos *links* são interdependentes e devem ser otimizados simultaneamente com as decisões da programação de produção. Esta programação mais complexa busca evitar estoques desnecessários e é consistente com as metas de uma produção enxuta”.

Pode-se concluir portanto, que a busca de uma sincronização da cadeia produtiva - objetivando eliminar estoques em todos os pontos desta - passa necessariamente por uma integração entre o sistema produtivo da empresa e o sistema logístico que opera entre esta e os fornecedores.

2.4. Abordagens existentes para problemas de logística

Problemas logísticos, principalmente aqueles que envolvem análise de redes de distribuição ou suprimentos, são por natureza de difícil tratamento e análise. As dificuldades geralmente iniciam na definição do escopo de análise, passando pela coleta de dados, que geralmente é extensa, até a etapa de modelagem matemática e avaliação dos resultados.

Ademais, em muitos casos, a técnica de modelagem empregada acaba se mostrando inadequada para o tratamento do problema real. Esta inadequação pode ser fruto das premissas que o método utiliza para formulação do problema, do excessivo e oneroso esforço de coleta de dados requeridos pelo modelo ou ainda pelo fato do modelo construído ser do tipo *NP-hard*¹. Por esta razão, o que acaba freqüentemente sendo feito é a realização de tomadas de decisão sem o respaldo de uma sistemática de análise.

Abordagens alternativas para análise e solução de problemas macro-logísticos (DAGANZO - 1991) têm recebido maior atenção devido às dificuldades intrínsecas das abordagens através de métodos numéricos.

O objetivo básico destas abordagens, também conhecida como métodos de aproximação contínua, é tornar problemas complexos mais tratáveis do ponto de vista de formulação, resolução e entendimento do fenômeno. Um exemplo deste tipo de abordagem foi apresentado por Blumenfeld *et al.* (1985) para o problema do *trade-off* entre Custo de Transporte *versus* Custo de Armazenagem.

¹problemas do tipo NP-hard (Non Polynomial Hard Problem) se caracterizam por serem computacionalmente impossíveis de serem resolvidos em tempos razoáveis através de algoritmos que buscam soluções ótimas por análise combinatória de todas as possibilidades. Para a formulação clássica do Problema do Caixeiro Viajante (TSP - Traveling Salesman Problem) por exemplo, o número de combinações possíveis entre os nós da rede (pontos de coleta ou entrega) cresce na proporção de $(n-1)!$ onde n é o número de nós da rede.

As abordagens tradicionais para problemas de distribuição normalmente negligenciavam o referido *trade-off* em função da complexidade exigida para tratar estas duas variáveis simultaneamente.

Já para problemas logísticos relacionados com movimentação de materiais são usualmente tratados por modelos de filas ou por simulação computacional. A escolha entre uma destas duas técnicas depende basicamente da complexidade do problema e do grau de acuracidade que se persegue para os resultados da análise.

Outras técnicas que podem ser utilizadas para análise de sistemas logísticos são as técnicas de Projeto de Experimentos. Um exemplo de aplicação destas técnicas foi feito por Araujo e Wanke (1996) para a análise de indicadores de produtividade em um processo de carregamento de uma fábrica de lubrificantes. As técnicas utilizadas neste estudo ilustram algumas aplicações para sistemas logísticos:

- ◆ Análise de Variância (ANOVA), para verificar a influência de alguns parâmetros do processo (forma de acondicionamento da carga e tipo de veículo);
- ◆ Projeto Fatorial, para identificar o grau de influência de cada um dos fatores e eventuais interações;
- ◆ Regressão linear múltipla, para estimar a produtividade do processo de carregamento em função do tipo de veículo e da forma de acondicionamento.

2.5. Apresentação das ferramentas de modelagem existentes

2.5.1. Modelos macroscópicos

Estes consistem basicamente da montagem de modelos analíticos, cuja formulação possibilita tratar problemas de PO de uma maneira bem mais simplificada e prática. Estes modelos permitem determinar um valor ótimo para uma variável através da busca de uma função contínua que produz um conjunto de valores que minimizem o custo do sistema modelado.

Por tratarem os dados em um nível mais agregado (por isso o nome 'modelos macroscópicos'), o valor 'ótimo' da função empregada não significa a obtenção de uma otimização para o modelo real. Entretanto, os resultados obtidos são bem próximos do ótimo, sem que para isso tenha sido necessária a construção de modelos grandes e complexos. Os modelos macroscópicos ou de aproximação contínua tem despertado bastante interesse nos últimos anos em questões relacionadas a problemas de otimização de distribuição física e minimização de custos de armazenagem e transporte;

O precursor desta abordagem foi Newell (citado por DAGANZO - 1991) que em 1971 elaborou uma formulação para determinação dos horários ótimos (ou quase ótimos) de saída de ônibus a partir de suas garagens. A partir de então, esta abordagem já foi utilizada para diversos problemas (e.g. determinação do *headway* ótimo para o suprimento de um ponto com demanda variável a partir de uma única origem e determinação da localização de terminal de consolidação de carga).

Uma das vantagens deste método reside na simplicidade das funções matemáticas utilizadas, o que possibilita a utilização do método em blocos para a solução de problemas mais complexos. Essas simplificações são possíveis porque os modelos são baseados no modelo do lote econômico, que é muito robusto (DAGANZO - 1991).

Esta conveniência é especialmente desejável na medida em que procura-se analisar as relações existentes entre as variáveis de um sistema produtivo e as variáveis do sistema logístico que oferece o suporte às atividades desse dentro de uma cadeia produtiva.

Exemplo de aplicação de um modelo macroscópico

Um exemplo da aplicação de modelos macroscópicos é apresentado por Daganzo (1991). O fabricante hipotético de computadores e video-games possui 3 fábricas e 100 centros de distribuição (CD's) nos Estados Unidos. As fábricas estão localizadas em Green Bay (módulos de computadores), em Denver (consoles dos video-games) e em Indianápolis (monitores para ambos os equipamentos). Alguns destes componentes são montados antes de serem vendidos, e esta tarefa pode ser executada nos próprios centros de distribuição ou junto a fábrica de Indianápolis, onde existe um grande armazém.

Busca-se uma estratégia de distribuição que minimize a soma dos custos de transporte e dos custos de armazenagem anuais (ver figura 2.2).

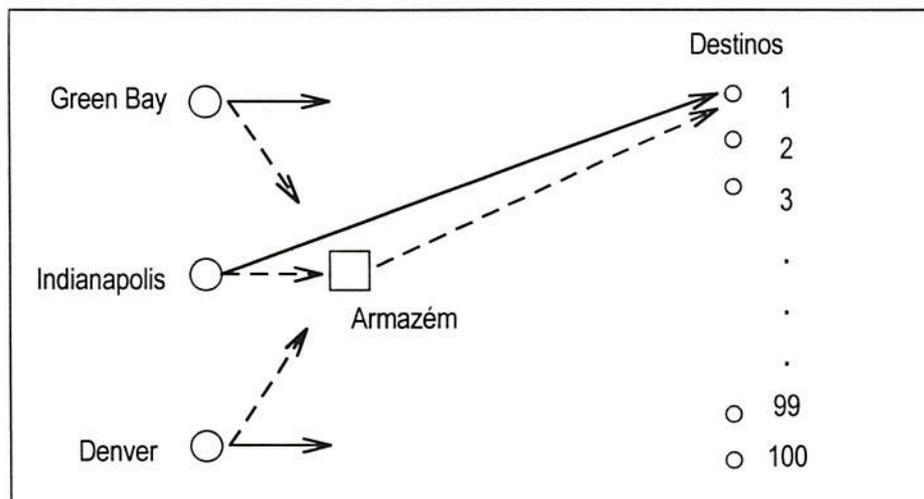


Figura 2.2. Possíveis estratégias de distribuição

Para fins de ilustração, são considerados os seguintes dados: demanda de cada centro de distribuição igual a 10 conjuntos/dia de computador/monitor 10 conjuntos/dia de video-game/monitor.

A distância média entre as fábricas e os centros de distribuição é de 1000 Km. O custo por Km rodado é de \$ 1,00 e o custo de estocagem é de 15% ao ano (0,06% ao dia contabilizados para 250 dias úteis). Os demais dados estão apresentados no quadro 2.1:

Fábricas Produto	Denver video-games	Green Bay computadores	Indianápolis monitores
Preço unitário (\$)	100	300	400
Peso unitário (Kg)	30	5	10
Demanda anual/CD's	2500	2500	5000

Quadro 2.1 - dados utilizados no exemplo

O objetivo da análise é quantificar os custos logísticos globais (armazenagem e transporte) para 4 estratégias de distribuição distintas para que seja possível identificar qual delas é a de menor custo. As estratégias investigadas são as seguintes:

1. entregas diretas com caminhões cheios;
2. entregas consolidadas em Indianápolis e transportadas em caminhões cheios;
3. entregas diretas e adotando o lote econômico de transferência;
4. entregas consolidadas em Indianápolis e transportadas com o lote econômico;

Comparando as 4 estratégias pode-se perceber uma significativa diferença entre o tratamento do problema apenas sob o ponto de vista do transporte (utilizando carga plena) e a análise considerando o *trade-off* existente entre custos de transporte e custos de inventário. O gráfico 2.1 resume os resultados obtidos:

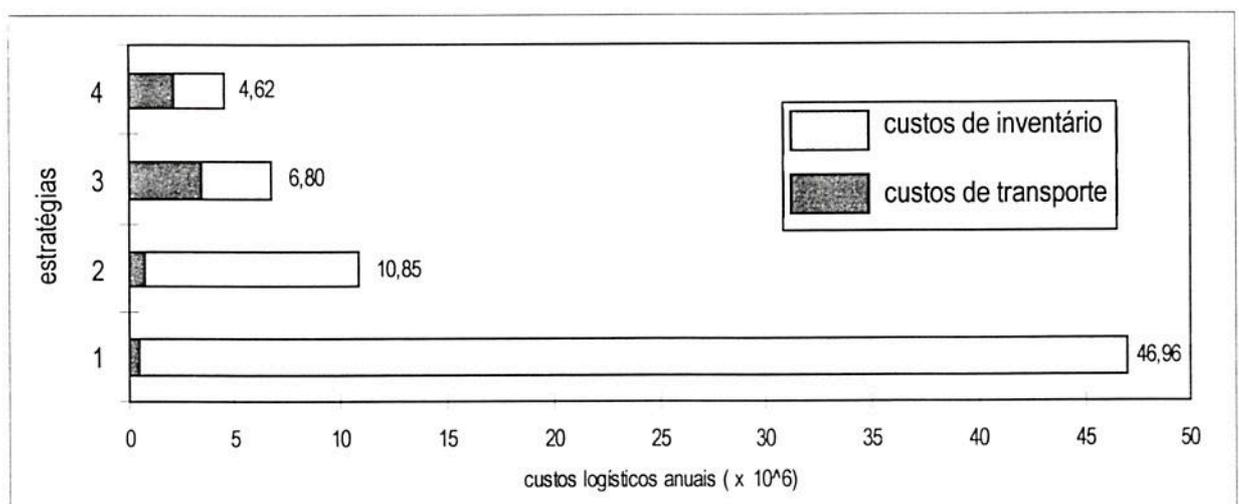


Gráfico 2.1 - resultado das 4 estratégias de distribuição

Para este exemplo apresentado, Daganzo realizou uma análise por métodos numéricos, tomando distâncias e demandas geradas aleatoriamente, e comparou seus resultados que estão apresentados no quadro 2.2:

Estratégias de distribuição	custo logístico estimado (em 10⁶ \$/ano)	custo logístico exato (em 10⁶ \$/ano)
1 - entregas diretas com veículos cheios	47,0	47,0
2 - entregas via terminal com veículos cheios	10,9	10,8
3 - entregas diretas com lote econômico	6,8	6,7
4 - entregas via terminal com lote econômico	4,6	4,5

Quadro 2.2 - Comparação entre os resultados aproximados e a análise numérica

Pelos resultados apresentados pode-se perceber que os resultados da análise aproximada diferiram muito pouco da análise numérica (mais exata). Daganzo destaca ainda a robustez do modelo frente a erros (moderados) nos dados de entrada do modelo.

Se, por exemplo, as distâncias tivessem sido superestimadas em 25%, o custo logístico anual seria respectivamente (em 10⁶ \$/ano) 47; 11; 7,6 e 5.

Por fim, Daganzo enfatiza algumas vantagens do uso de funções compostas de um número reduzido de variáveis:

- ◆ permitem um entendimento físico do problema;
- ◆ é uma eficiente ponte de comunicação entre o analista e o tomador de decisão para justificar ações e recomendações;
- ◆ pode apontar para outras soluções além daquelas contidas na formulação inicial. Isto pode levar à reconsiderar as questões originais do problema ou ainda a ampliar o escopo da análise.

2.5.2. Projeto de Experimentos

O uso de técnicas hoje conhecidas como ‘Planejamento e Avaliação de Experimentos’, ou simplesmente ‘Projeto de Experimentos’ (*Experimental Design*) foi primeiramente aplicado em experimentos agrícolas por Sir Ronald A. Fisher na década de 30 (citado por MONTGOMERY - 1991).

Por serem essencialmente ferramentas estatísticas aplicadas, as técnicas de Projeto de Experimentos acabaram se difundindo rapidamente em várias áreas de conhecimento. As razões para essa rápida difusão foram as seguintes:

- ◆ formatação das ferramentas às necessidade práticas de técnicos e especialistas através de métodos e modelos particularizados para as diversas situações correntes;
- ◆ possibilidade de gerar, a um custo mínimo, o maior número de informações possíveis a respeito dos fatores a serem estudados;

A partir da designação ‘Planejamento e Avaliação de Experimentos’ podem-se salientar dois aspectos importantes deste conjunto de técnicas. Primeiramente, destaca-se o termo ‘Planejamento’, cujo significado diz respeito ao projeto do experimento propriamente dito. O principal objetivo na etapa de ‘Planejamento’ do Experimento é “definir uma seqüência de ensaios que seja econômica e eficiente simultaneamente” (Ribeiro - 1995). O termo ‘Avaliação’ refere-se a análise estatística dos resultados, cujos objetivos são:

1. determinar a significância dos efeitos dos fatores experimentados sobre a variável de resposta do problema;
2. possibilitar uma maximização (ou minimização) do desempenho do sistema em análise sob o ponto de vista dos fatores experimentados.

Um eficiente processo de avaliação do experimento assegura ainda ao analista um maior respaldo científico para as decisões a serem tomadas. Projetos de Experimentos

utiliza diversas técnicas estatísticas que permitem a análise dos mais variados fenômenos. Todas essas técnicas exigem que um conjunto de hipóteses subjacentes seja satisfeito. Algumas das técnicas empregadas são:

- ◆ **Análise de Variância (ANOVA)** - algoritmo que tem por finalidade avaliar a diferença entre médias de amostras de uma mesma população, cuja distribuição deve ser normal. O teste de hipótese entre as médias das amostras é feito calculando-se a razão entre as variâncias das amostras. Considerando que a razão entre as variâncias das amostras segue a distribuição de Fisher, valor calculado é então comparado com um valor tabelado para um determinado tamanho de amostra e número de graus de liberdade. A hipótese de igualdade H_0 é verificada se o valor calculado for maior que o tabelado.

- ◆ **Projetos fatoriais** - técnicas estatísticas que tem por objetivo identificar a significância das variáveis de controle de um experimento bem como possíveis interações entre estas. Busca-se com esta técnica avaliar a resposta de um sistema que ocorre em decorrência da mudança dos níveis dos fatores experimentados;

- ◆ **Modelos de Regressão** - algoritmos que tem por objetivo criar modelos explicativos a partir de dados experimentais. Estes modelos descrevem, através de um conjunto de variáveis, o comportamento de um sistema. Os modelos de regressão podem ser classificados sob diversos aspectos:

- (a) quanto ao número de variáveis independentes: modelos de regressão simples ou múltipla;
- (b) quanto ao tipo de função: modelos polinomiais lineares, modelos polinomiais de ordem n , modelos multiplicativos, etc.;

A seguir são apresentados alguns modelos de regressão comumente utilizados:

$$f(X_i) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{p+k} \alpha_i X_i + \sum_{\substack{i,i=1 \\ j \geq i}}^{p+k} \alpha_{ij} X_i X_j + \mathcal{E} \quad (\text{modelo polinomial})$$

$$f(X_i) = \alpha_0 \prod X_i^{\alpha_{ij}} * \epsilon \quad (\text{modelo multiplicativo})$$

2.5.3. Modelos Heurísticos

Constituem-se numa poderosa ferramenta de PO para a abordagem de problemas extensos e ou complexos (e.g. problemas *NP-hard*). Métodos heurísticos utilizam para a busca de uma solução para o problema um conjunto de hipóteses que nem sempre são comprovadas como verdadeiras.

Muitas vezes estas hipóteses - as quais originam algoritmos de decisão - são baseadas nas experiências dos especialistas com respeito ao problema a ser analisado. Problemas que obtiveram grandes benefícios através da adoção desses métodos foram, entre outros, os de roteamento de veículos e os de seqüenciamento da produção;

Um grande número de problemas que relacionam comunicação, transporte e distribuição de produtos são estudados através de modelos de redes. Nesta última categoria - distribuição - , uma grande preocupação foi despendida para solucionar problemas ligados ao roteamento de veículos que realizam a distribuição física de produtos.

A formulação clássica do 'Problema do Caixeiro Viajante' (*Traveling Salesman Problem*) é baseada num algoritmo do tipo *Branch and Bound* de busca vertical, que tem por objetivo encontrar dentre os grafos passíveis de compor a rota do veículo, uma combinação na qual a soma dos pesos de todos os arcos que compõem a rota seja a mínima possível. Este processo é feito através de uma busca exaustiva - são testadas todas as combinações possíveis entre os nós - dentro do espaço de solução do problema (composto pelos n nós da rede).

Na prática porém, observa-se que os grafos resultantes da representação destes modelos são tão amplos que fica praticamente impossível outro tipo de tratamento que não o computacional. Por esta razão diz-se que a habilidade dos analistas em tratar esta categoria de problemas é tão boa quanto a capacidade dos computadores que estes utilizam.

Dado que existia uma amarração entre tratabilidade do problema e capacidade computacional, alguns pesquisadores começaram a buscar alternativas (algoritmos) que alcançassem soluções razoáveis independente do avanço do potencial de hardware. Apesar dos computadores terem experimentado um avanço vertiginoso nos últimos anos, estes ainda estão longe de oferecer soluções ótimas para problemas de redes de situações reais.

Neste sentido, muitas heurísticas de busca de soluções ‘quase ótimas’ têm sido apresentadas pela literatura de Pesquisa Operacional. A maioria destas tem possibilitado a solução de problemas reais dentro de certas condições específicas, cujos limites são bem conhecidos por quem a desenvolveu.

Cabe assinalar que soluções heurísticas baseiam-se no conhecimento e na experiência do analista, e por conseguinte carregam inúmeras premissas oriundas do problema específico que nem sempre podem ser generalizadas e por isso mesmo requerem um maior grau de cuidado para serem aplicadas em outros problemas.

Resumindo, usam-se heurísticas quando se prefere uma solução muito boa em pouco tempo a uma solução ótima em um tempo de solução inaceitável (*trade-off* entre qualidade e custo da solução).

2.5.4. Simulação Computacional

Existem várias formas de se testarem mudanças sobre um processo ou operação. Pode-se, por exemplo, implementar as mudanças no próprio sistema real e verificar quais os efeitos destas mudanças sobre o mesmo (tentativa e erro). No entanto, esta alternativa parece ser a menos recomendada visto que os riscos e os custos associados geralmente são elevados. Além do que uma experimentação real pode ser inexecutável devido a restrições físicas e temporais.

A outra corrente de alternativas possíveis é a construção de modelos que representem esta realidade. Estes por sua vez, podem ser de dois tipos: modelos físicos ou modelos matemáticos. LAW e KELTON (1991) apresentam esta classificação na figura 2.3 exposta a seguir:

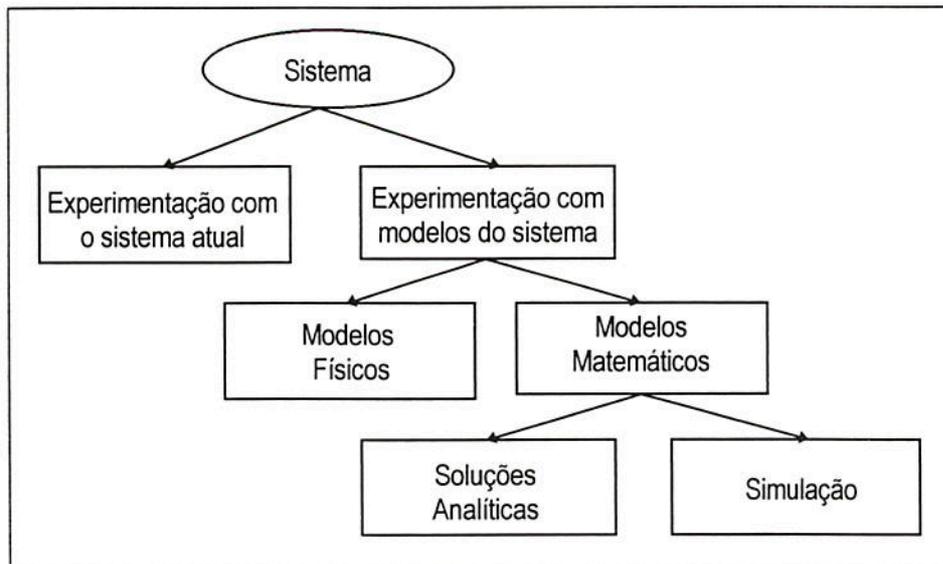


Figura 2.3 - Caminhos para estudar um sistema (Fonte: LAW & KELTON - 1991)

A esta classificação pode-se ainda acrescentar uma subdivisão para os modelos físicos que podem ser análogos ou idênticos, quanto à sua semelhança com sistema real, e em escala real ou alterada, quanto às suas dimensões.

Dentre as técnicas de modelagem matemática que podem ser utilizadas, encontram-se as chamadas modelagens analíticas, as quais buscam um resultado ótimo para o sistema em estudo, e as técnicas de simulação. Com relação às primeiras - formulações analíticas - existe uma grande restrição ao seu uso que é diretamente relacionado com o grau de complexidade do sistema a ser modelado. Apesar destas poderem considerar efeitos estocásticos em sua formulação, estes rapidamente restringem sua tratabilidade analítica a modelos bastante simplificados. Já as técnicas de simulação têm grande facilidade em tratar a questão estocástica, além do que, permitem conectar em um único modelo um grande número de eventos e relações de um sistema real.

Hollocks (1992) define simulação como sendo “a criação de um programa computacional que representa alguma parte do mundo real de tal forma que experimentos realizados no modelo predigam o que acontecerá na realidade”. Apesar de Hollock

restringir a definição de simulação à modelagem computacional, deve-se ressaltar que modelagens em sistemas físicos também podem ser simulados.

Pidd (1992) destaca que a simulação não fornece respostas diretas, não é uma ferramenta de otimização, mas sim uma técnica de experimentação e por isso mesmo requer uma análise cuidadosa dos resultados por ela obtidos. A figura 2.4. apresenta esta concepção.

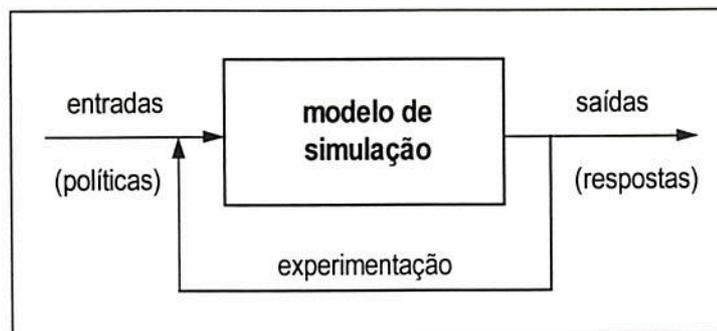


Figura 2.4. - Elementos básicos de uma simulação (fonte: PIDD - 1992)

Resumidamente, podem-se enumerar as seguintes vantagens para uso de simulação:

- ◆ Sistemas complexos, com elementos estocásticos, muitas vezes, não podem ser descritos com acuracidade por modelos matemáticos analíticos;
- ◆ Pode-se obter um controle sobre as condições do experimento que em condições reais seriam muito difíceis de serem alcançadas;
- ◆ Possibilita testar diferentes configurações do sistema sob a mesma base de condições, ou seja, pode-se manter um *ceteris paribus* do experimento para que seja possível analisar o efeito de um dado atributo do sistema;
- ◆ Permite um estudo de um longo horizonte de tempo. É possível simular anos em segundos de tempo do computador;

Cassel (1996) destaca ainda que o uso da simulação pode **reduzir gastos com** experimentações com o sistema real, energia e até o moral do pessoal em mudanças que não tragam resultados positivos.

Outros fatores que favorecem o uso desta ferramenta é a ampla gama de Software de simulação disponível no mercado atualmente, os quais atendem a quase todos os tipos de necessidades de aplicação e sua portabilidade em Hardware de baixo custo como o PC.

No entanto, a técnica também tem suas desvantagens:

1. devido à sua natureza estocástica, os modelos devem ser rodados várias vezes para poder se prever a performance do sistema (Law & Kelton, 1991);
2. a simulação é muito dependente da validade do modelo desenvolvido. Modelos complexos são de difícil compreensão e tendem a ser pouco robustos. Como referiu-se Friedman (citado por HALL - 1985a): “ o importante é que o modelo explique muito com pouco”;
3. a técnica da simulação não é por si só otimizante, testando somente as alternativas dadas pelo usuário. Portanto, o estudo de simulação requer um alto grau de entendimento do fenômeno a ser modelado e domínio de técnicas que auxiliem na montagem e análise do experimento realizado;
4. a facilidade oferecida pelas ferramentas de modelagem pode reduzir o incentivo para que realmente se entenda o problema. Para que pensar sobre isso se eu posso simular?
5. os resultados podem não ser generalizáveis para sistemas semelhantes.

Um outro aspecto relevante com respeito ao uso desta técnica de análise é a existência de um *trade-off* entre domínio computacional para codificar o modelo e flexibilidade oferecida pela ferramenta de modelagem utilizada. Rodrigues (1994) apresenta este *trade-off* para as diversas categorias de pacotes que podem ser utilizados para modelar computacionalmente um sistema (figura 2.5):

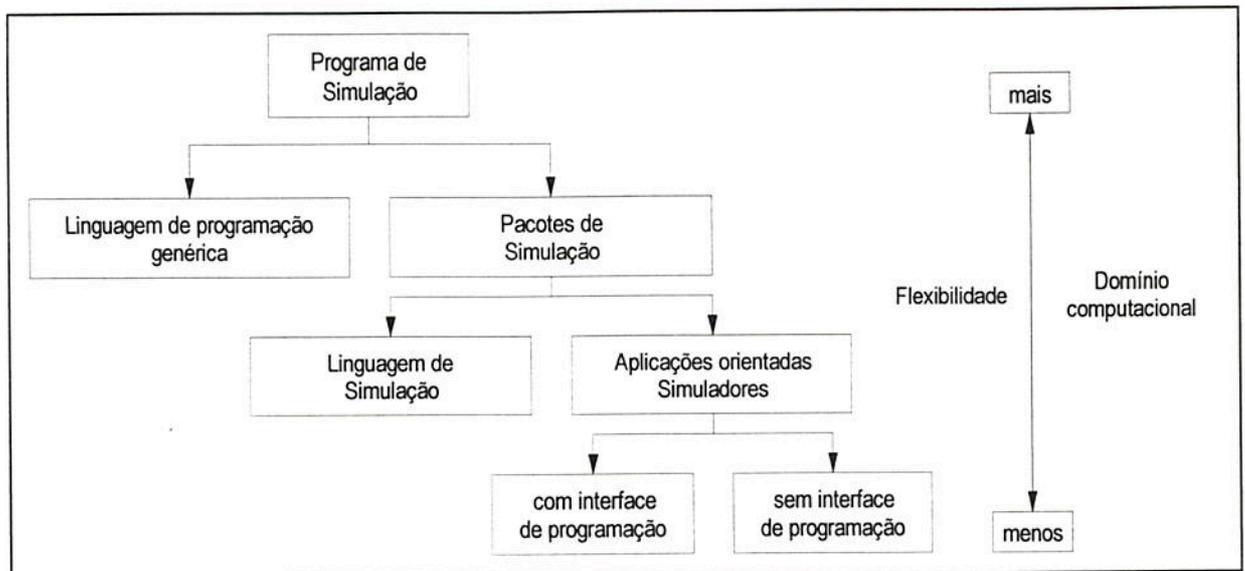


Figura 2.5. - Trade-off entre flexibilidade de modelagem versus domínio de ferramentas de programação (fonte: RODRIGUES - 1994)

Especificamente para este estudo foi utilizado o Software de simulação denominado Micro Saint. A razão pela qual foi escolhido este software dentre outros existentes (*e.g.* AutoMod, Arena, ProModel, Taylor II, etc.), além das opções por linguagens genéricas (*e.g.* Pascal, C, FORTRAN, basic) e por linguagens de simulação (*e.g.* GPSS), residiu basicamente nos seguintes critérios:

- ◆ Flexibilidade para modelagens de situações diversas;
- ◆ Domínio sobre o seu funcionamento;

Método de trabalho para realização de um projeto de simulação

O projeto de simulação desenvolvido neste estudo seguiu a estrutura proposta por LAW e KELTON (1991), a qual consiste das seguintes etapas:

1. **Formulação do Problema:** análise do cenário no qual se insere o sistema a ser modelado, identificando suas características. Dentro deste contexto, busca-se levantar as fases do processo passíveis de serem estudadas via modelos de simulação. A partir do entendimento das relações presentes no sistema pode-se estabelecer os objetivos do projeto de simulação bem como o seu grau de

detalhamento. Apesar de todas as etapas de desenvolvimento de um projeto de simulação serem importantes, esta, em especial, possui uma importância sobremaneira, visto que é nela que se define o problema sob todas as dimensões a partir das quais as demais etapas do processo prosseguirão.

2. **Coleta de dados e definição do modelo:** esta etapa consiste basicamente em buscar os dados necessários para alimentar o modelo a ser desenvolvido. Nesta etapa também é desenvolvido um modelo teórico que represente as entidades, eventos, atributos e indicadores do sistema.
3. **Verificação:** após terem sido obtidos os dados, deve-se verificar se estes estão consistentes com a realidade, pois muitas vezes o processo de agregação e desagregação dos dados podem prejudicar a representação da realidade. A etapa de validação é feita colocando em contato as pessoas familiarizadas com o sistema atual (tanto no nível operacional como no nível gerencial) com os dados coletados, tanto a nível desagregado (da forma que foi obtido) como a nível agregado (tabulado de alguma forma). Busca-se também realizar uma análise da adequabilidade do uso das distribuições coletadas para a geração das variáveis de entrada do modelo computacional através de técnicas estatísticas apropriadas;
4. **Construção do modelo computacional e verificação:** através do uso de um software de simulação (no caso deste trabalho o *Micro Saint*), é desenvolvido o modelo computacional do sistema a ser analisado;
5. **Execuções piloto do modelo:** com o intuito de verificar a estrutura do modelo computacional desenvolvido são feitas execuções piloto do mesmo;
6. **Validação:** são feitos também, testes de validação do modelo a partir dos resultados da etapa 5. Esta validação se baseia na comparação destes resultados com dados do sistema real. Também são realizados testes de sensibilidade para verificar se pequenas alterações na entrada de dados provocam grandes mudanças na saída do modelo. O objetivo desta etapa é, portanto, verificar se o comportamento do modelo computacional está representando adequadamente a realidade.

7. **Análise do experimento:** nesta etapa, é feito um planejamento do experimento, o qual, busca parametrizar as condições pelas quais a simulação irá transcorrer. Elementos fundamentais como duração de cada simulação, número de replicações necessárias, condições iniciais da simulação, tempo de *warm up* (estabilização) do sistema e eventual necessidade e vantagem de utilização de técnicas de redução de variância são contemplados nesta etapa do projeto;
8. **Rodagem do Modelo para resultados:** este estágio corresponde a rodagem do modelo dentro das condições preestabelecidas pela etapa anterior com o objetivo de gerar os dados que consubstanciarão a análise do sistema (via modelo);
9. **Análise dos resultados:** no caso de se estar simulando diferentes configurações de um determinado sistema, a análise dos respectivos resultados objetiva identificar qual delas representa a melhor opção, ou ainda construir funções que possam ser otimizadas. Caso se esteja analisando os resultados de uma única configuração, o objetivo desta etapa é identificar os intervalos de confiança que limitarão a precisão dos resultados obtidos;
10. **Documentação, apresentação e implementação dos resultados:** o objetivo da documentação é fornecer as condições necessárias para repetições futuras do projeto sob as mesmas bases comparativas. Finalmente, é feita a proposição de implementação dos resultados que se mostrarem conclusivos sobre determinados fatos, condições ou procedimentos que são feitos atualmente e que poderiam ser modificados.

Capítulo 3 - Consideração sobre o uso de abordagem hierarquizada

3.1. Apresentação

Neste capítulo são feitas considerações a respeito de uma abordagem hierarquizada para problemas logísticos. Pretende-se argumentar que a seqüência de análise pode ser unidirecional quando determinadas variáveis não se alteram ao longo do tempo. Além disso, é enfatizado que diversas formulações podem ser utilizadas de acordo com a amplitude e a natureza do problema tratado. Em seguida é apresentado um modelo de abordagem de problemas logísticos que tem por objetivo ilustrar as possibilidades de um tratamento hierarquizado.

3.2. O tratamento de problemas complexos

A existência de vários níveis de decisão em sistemas logísticos e a diversidade de variáveis em cada um desses níveis sugere um alto grau de complexidade para o tratamento dos problemas. Basicamente existem dois caminhos para tratar um sistema com essas características: (1) construir um modelo monolítico, representativo de todo o sistema ou (2) dividir o sistema em módulos e analisar cada módulo separadamente.

Em ambos os casos, existem riscos implícitos à abordagem escolhida para análise do sistema. No caso da escolha ter sido por uma modelagem ampla do sistema, o risco é a perda do controle sobre o modelo e uma relação custo/benefício provavelmente desfavorável.

Para o caso da escolha ter sido em favor de uma modelagem modular, enfocando apenas um ponto considerado ‘crítico’ do sistema, existe o risco de estar sendo feita uma otimização localizada, ou pior, estar sendo solucionado o problema errado. Para este último caso, no entanto, existe a vantagem da farta literatura dedicada ao tratamento de problemas específicos através de ferramentas quantitativas. Uma alternativa intermediária a estes dois extremos seria a de adotar uma abordagem hierarquizada para o problema.

3.3. Considerações sobre o uso de abordagem hierarquizadas

A complexidade, a amplitude e os diferentes horizontes de tempo fazem com que muitos problemas logísticos tenham que ser abordados por partes. É importante, porém, que na etapa de quebra do problema em módulos menores seja mantido o encadeamento e os principais *trade-offs* entre as variáveis do problema.

O critério de divisão do problema em módulos depende da natureza dos processos envolvidos. Portanto, o entendimento dos fluxos que compõem os processos e das suas relações de causa-efeito são o ponto de partida para definição dos possíveis módulos de análise

e para identificação dos eventuais *trade-offs* do problema. Com base nesta divisão inicial deve-se verificar a conveniência dos métodos de análise disponíveis. Esta avaliação pode levar a um agrupamento de alguns módulos do problemas ou a uma divisão dos mesmos.

Por exemplo, se um problema é definido como sendo o aumento do fluxo de carga num terminal de transbordo, o modelo de análise priorizará ações sobre as atividades de descarga e triagem e carregamento de veículos. Uma das possíveis soluções seria receber a carga unitizada (para agilizar a descarga dos veículos) e montar um sistema de separação de cargas que minimize as atividades de movimentação.

Ocorre que nesta formulação do problema não estão sendo explicitadas quais são as implicações e os pré-requisitos da delimitação do escopo do problema. Dependendo de quais são as condições de unitização, por exemplo, a solução deste problema - fluxo de carga no terminal - pode estar gerando uma sub-otimização para o sistema logístico como um todo. Isto porque a forma de acondicionamento da carga interfere nas operações do terminal que por sua vez interfere no desempenho do sistema de transporte.

Um modelo hierarquizado pressupõe uma visão sistêmica das variáveis e dos processos e a definição de um escopo de análise mais amplo. Para estruturar este exemplo de forma hierárquica, o problema poderia ser definido como sendo o aumento do fluxo de carga na rede logística ao menor custo possível. Neste caso o processo a ser analisado poderia envolver acondicionamento, fluxo de carga no terminal e transporte. Para o exemplo, as variáveis do problema podem ser as seguintes:

- ◆ forma das embalagens, tamanho dos paletes e sistema de unitização para a operação de acondicionamento da carga;
- ◆ rotinas operacionais, sistemas de movimentação e de separação para as operações de descarga, triagem e carregamento;
- ◆ capacidade do veículo e distâncias para a operação de transporte da carga.

O processo é composto do três grupos ou subsistemas de operações encadeados da seguinte forma (figura 3.1):

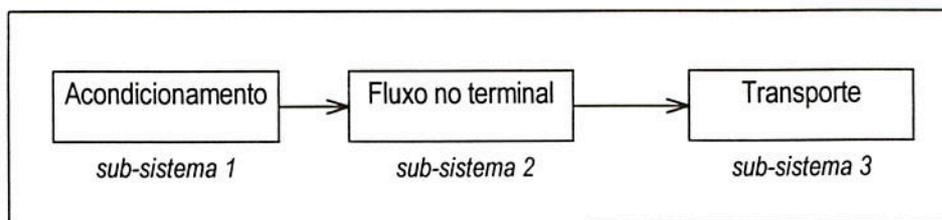


Figura 3.1 - Subsistemas do processo a ser analisado

Em seguida pode-se identificar entre quais subsistemas existem *trade-offs* que devem ser analisados. Para os subsistemas envolvem algum tipo de *trade-off*, é conveniente que o método de análise empregado incorpore as variáveis dos respectivos subsistemas. Já para aqueles que não envolvem qualquer tipo de interferência, pelo menos dentro de um determinado horizonte de tempo, o método de análise a ser empregado pode contemplar apenas as variáveis do subsistema isoladamente e posteriormente lançar o resultado da análise para o subsistema subsequente. Como a forma de unitização interfere nos processos subsequentes e não possui *trade-off* com os outros subsistemas, ela deve ser o primeiro subsistema a ser analisado e, além disso, pode ser tratada isoladamente.

A partir de uma melhoria na forma de unitização, que poderia envolver redefinição do formato das embalagens, seriam analisados os subsistemas descarga, triagem e carregamento.

Como entre estes dois últimos subsistemas existe um *trade-off* entre tempo de descarga e utilização do veículo, a ferramenta ou método de análise deve incorporar as variáveis de ambos os subsistemas. Sendo assim, o modelo hierárquico a ser utilizado neste caso seria representado pela figura 3.2:

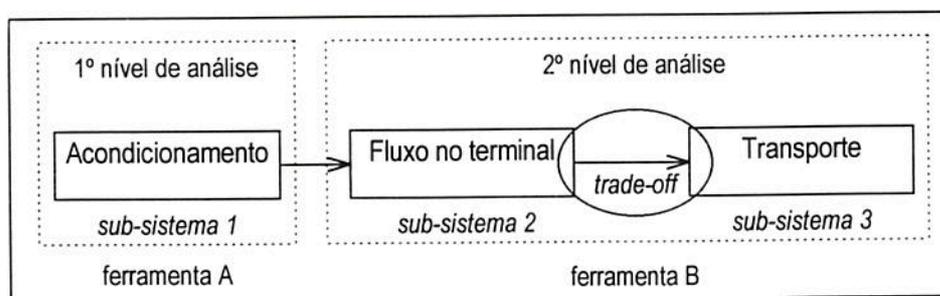


Figura 3.2 - Abordagem hierarquizada para o problema

Possíveis encadeamentos de métodos de análise para problemas logísticos

O exemplo apresentado anteriormente buscou apresentar em linhas gerais de que forma um problema logístico pode ser estruturado em módulos mas mantendo uma visão sistêmica do mesmo. A figura 3.3. apresenta alguns dos possíveis encadeamentos que existem entre problemas logísticos e alguns métodos de análise.

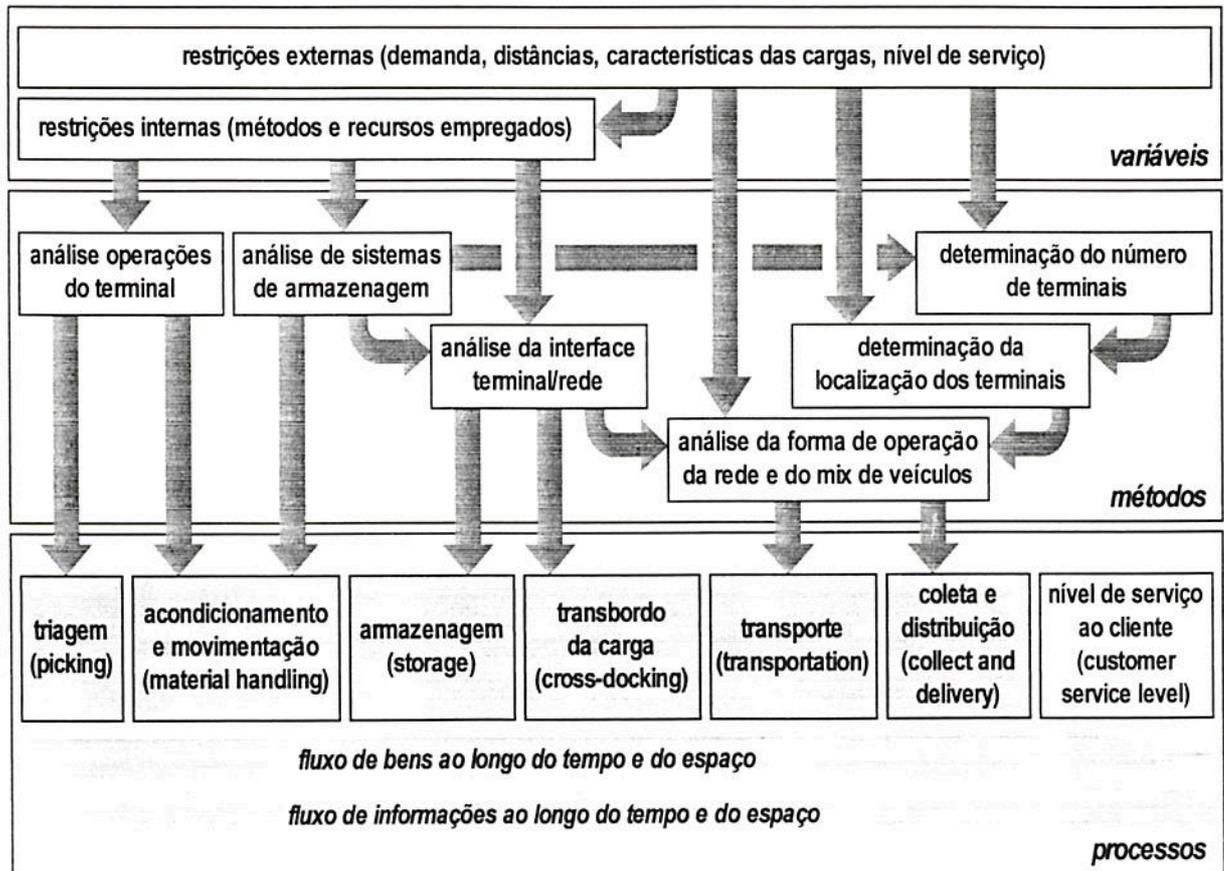


Figura 3.3 - Estrutura hierarquizada para abordagem de problemas de logística

As relações entre os métodos sugerem a seqüência de aplicação destes dentro de um modelo de análise hierarquizado dos sistemas logísticos. Na parte superior são apresentadas as duas grandes categorias de variáveis que são incorporadas por esses métodos.

3.4. Generalização de um modelo hierárquico de suporte à decisão

Como já havia sido mencionado, a estruturação de um problema de forma hierárquica deve partir da definição das variáveis e dos processos envolvidos. Sempre que existirem *trade-offs* entre dois ou mais subsistemas é conveniente que estes sejam agrupados em um único modelo de análise. Além disso, estes modelos não devem ser retro-alimentados. Ou seja, dentro de um horizonte de planejamento os resultados de um modelo não podem interferir nas condições iniciais dos modelos predecessores.

Cabe salientar que nada impede que isto ocorra em certas situações, mas nesses casos o modelo utilizado não seria classificado como hierárquico, mas apenas de enfoque sistêmico.

Considerando estas idéias básicas de uma análise sistêmica e hierarquizada, pode-se sintetizar os passos desta abordagem nas seguintes etapas (figura 3.4.):

1. **Diagnóstico: identificação dos processos e variáveis** - nesta etapa é feito um levantamento do ambiente que cerca o problema, dos processos e das variáveis envolvidos. Com base neste diagnóstico é que será definido o escopo do problema a ser analisado;
2. **Formulação do problema** - consiste em definir o escopo do problema e os objetivos da análise e a ser feita. A formulação deve descrever o funcionamento do sistema a ser modelado, suas variáveis independentes (entradas, saídas, capacidades, características, etc.) e a(s) variável(eis) de resposta do modelo;
3. **Análise das relações de causa/efeito e dos eventuais *trade-offs*** - muitas vezes o problema a ser analisado possui diversos níveis de decisão e análise. Ou seja, o sistema pode ser composto por diversos subsistemas que, de alguma forma, se relacionam. Nestes casos é importante identificar as relações de causa/efeito, pois estas relações servem para orientar a seqüência de análise do problema. Além disso, elas servem como conexão entre os resultados das análises dos subsistemas. A montagem das relações de causa/efeito permite ainda a identificação dos eventuais *trade-offs* entre os subsistemas;

4. **Determinação dos níveis (módulos) de análise do sistema** - os subsistemas do problema pode ser divididos ou agrupados para fins de análise compondo níveis ou módulos. Esta modularização dependerá da existência de *trade-offs* entre os subsistemas e da natureza dos processos a serem analisados;
5. **Identificação da ferramenta de análise mais adequada** - uma vez definidos os níveis de análise deve-se partir para definição da ferramenta ou método mais adequado para o tratamento do problema.
6. **Verificação da adequação das ferramentas aos níveis definidos** - em alguns casos, as ferramentas disponíveis na literatura podem não se adequar perfeitamente ao escopo do problema ou permitem incorporar mais de 1 nível do problema na análise. Se a ferramenta não se adequar a divisão feita dos níveis, estes devem ser redefinidos;
7. **Verificação quanto a retroalimentação dos níveis do modelo** - a solução seqüencial dos níveis do modelo só pode ser feita se os resultados dos níveis subseqüentes não afetam o resultado de seus predecessores. Caso isto ocorra, o modelo não é hierárquico e deve ser abordado de outra forma;
8. **Solucionar os módulos** - consiste na resolução do problema para cada módulo do problema, na seqüência definida pelas relações de causa/efeito identificadas;
9. **Incorporação da solução de um módulo no nível subseqüente** - como a análise é feita de forma hierarquizada o resultado de um nível do modelo serve como um dos dados de entrada do nível seguinte. Este processo é realizado até que todos os níveis do problema sejam otimizados;
10. **Solução final do problema** - ao final da análise de todos os níveis do problema os resultados devem ser analisados e as soluções para o problema devem ser propostas. Estas podem incluir a montagem de planos de implantação, o levantamento dos investimentos necessários e o estabelecimento de um cronograma de implantação.

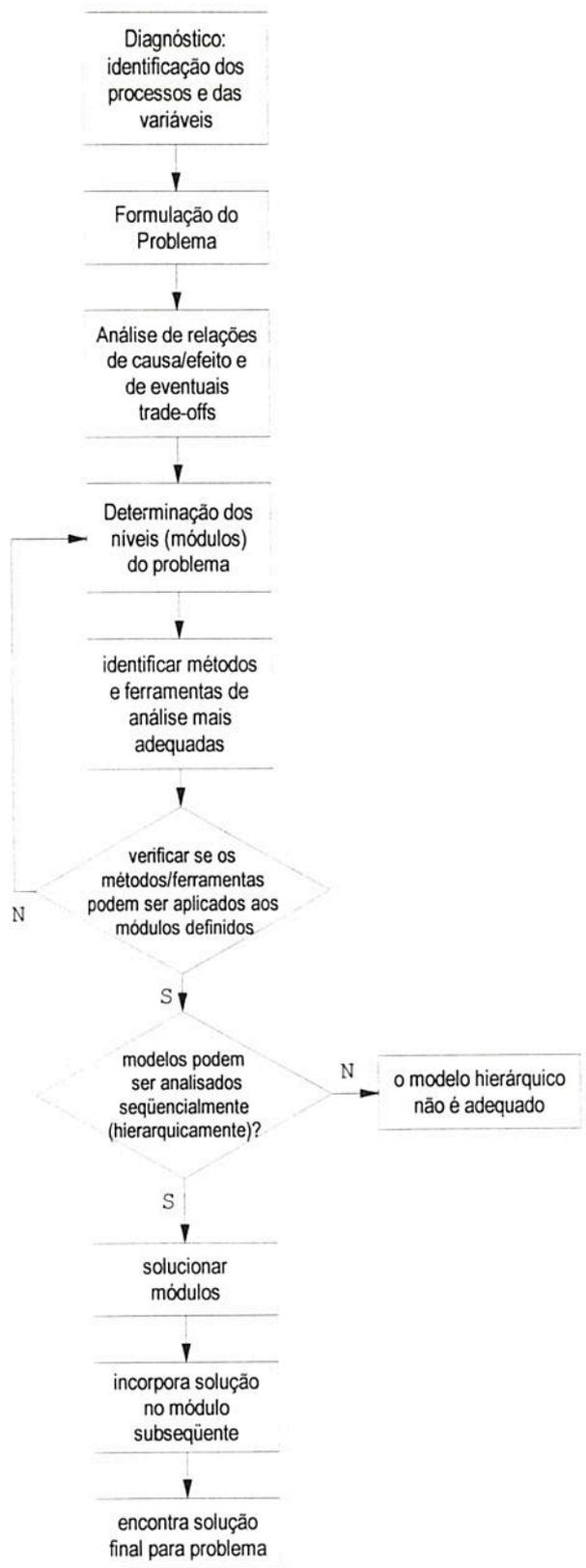


Figura 3.4 - Modelo de análise hierarquizada para modelagem de problemas logísticos

Capítulo 4 - Estudo de caso

4.1. Apresentação

Este capítulo apresenta o estudo de caso realizado em uma empresa de transporte de carga, a partir do qual foi montado um modelo para a análise das operações nos seus diversos níveis. Devido às peculiaridades dos processos e dos fluxos de operações presentes neste tipo de empresa, foi desenvolvida uma abordagem hierarquizada para análise das operações, a qual é composta por três níveis: terminal, interface terminal/rede e rede de transporte. As ferramentas utilizadas nesse modelo foram estruturadas de modo que o resultado de uma sirva como um dos dados de entrada requeridos pela ferramenta seguinte.

A apresentação do estudo de caso está dividida da seguinte maneira: inicialmente é feita uma caracterização das atividades desenvolvidas na empresa para definir as variáveis envolvidas e as particularidades dos processos. Com base nesta caracterização é apresentado o método de abordagem empregado, no qual são feitas as conexões entre os níveis de análise supracitados. Em seguida, são apresentados os modelos e seus respectivos resultados para cada um dos níveis da análise.

4.2. Montagem do estudo de caso

Para construir e verificar as potencialidades do uso de um modelo hierárquico de suporte à decisão foi realizado um estudo de caso numa empresa de transporte de carga que atua nas regiões sul e sudeste do país. Com base na caracterização das atividades da empresa, na percepção de que existem diversos níveis de decisão e que cada um desses contempla um conjunto diferenciado de variáveis, foram definidos 3 níveis de análise para abordar o sistema:

1. Análise das operações de processamento de cargas;
2. Análise da interface entre as operações do terminal e a rede de transporte;
3. Análise da rede de transporte sob o ponto de vista do número ideal de terminais.

O estudo de caso foi planejado com a finalidade de possibilitar a construção e a validação do modelo de suporte à decisão proposto. O método que se apresenta visa, a partir do entendimento do modo de operação da empresa, dos recursos disponíveis e de algumas condicionantes do mercado, construir um modelo de suporte a decisões para área de operações.

As etapas para execução do estudo de caso foram as seguintes:

- ◆ Caracterização das atividades da empresa;
- ◆ Identificação dos níveis de decisão e das variáveis de interesse;
- ◆ Identificação das técnicas e ferramentas adequadas para cada nível do modelo;
- ◆ Coleta de dados e aplicação de ferramentas de análise para cada um dos níveis do modelo segundo métodos de abordagens adequados às respectivas ferramentas;
- ◆ Validação dos resultados das análises e integração entre os diversos níveis do modelo para subsidiar tomadas de decisões gerenciais;

4.3. Caracterização das atividades da empresa

A empresa de transporte de carga onde foi realizado o estudo de caso opera dentro do modal rodoviário em nível nacional. Sua rede logística abrange a região Sul, o estado de São Paulo e as regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte através de 35 filiais e 35 franquias.

A empresa opera uma frota de mais de 1000 de veículos, sendo 45% próprios, e conta com um quadro de mais de 2000 funcionários. O perfil das cargas transportadas inclui autopeças, têxteis, manufaturados, produtos alimentícios, eletro-eletrônicos, entre outros.

O serviço de transporte de carga compreende, de uma forma geral, três tipos de atividades sobre as cargas: o manuseio, a armazenagem e o transporte propriamente dito. A primeira atividade encontra-se dentro do escopo de análise das operações dos terminais de armazenagem e transbordo. Já a segunda e a terceira atividade fazem parte de um escopo de análise mais amplo, que compreende a operação da rede de transporte e a interface desta junto às operações do terminal.

4.3.1. Operação da rede de transporte

Para descrição da operação da rede de transporte é conveniente que sejam apresentados dois conceitos relativos à forma de alocação dos veículos na rede de transporte: roteirização e consolidação da carga.

Entende-se por consolidação o processo de concentrar o volume de demanda de várias origens em um terminal para que, a partir deste, o transporte seja realizado através de um único fluxo até outro terminal, no qual a carga é desmembrada para ser distribuída para vários destinos. As vantagens desta estratégia reside na possibilidade de se minimizar a ociosidade dos veículos no percurso entre os terminais de consolidação e na possibilidade de aumentar a frequência de viagens simultaneamente.

Entende-se por roteirização o processo de alocar um veículo num circuito de viagem composto por vários pontos de coleta ou entrega de cargas. Desta forma a oferta do veículo é compartilhada por um conjunto de demandas isoladas, que se tivessem que ser atendidas

isoladamente (rotas diretas) gerariam ociosidade nos veículos ou baixa frequência de atendimento dos pontos de demanda. Pode-se dizer que a estratégia de roteirização da carga é uma variante da estratégia de consolidação, onde esta é feita de forma distribuída e não concentrada em um único terminal.

O processo inicia quando um cliente faz um pedido de coleta de carga, que pode ser via telefone ou via EDI. Com base neste pedido é alocado um veículo leve, para coletas de pequenas quantidades, ou pesado, para coletas maiores. Os veículos pesados são despachados do terminal da empresa enquanto que os leves, que se encontram na rua, são despachados para o ponto de coleta a partir da sua posição dentro do circuito de coleta local.

As áreas de coleta local são pré-definidas para cada veículo que já sai da empresa com um roteiro de coleta inicial. À medida que novos pedidos são solicitados à empresa estes são transmitidos via rádio para o veículo da região mais próxima ao ponto de coleta (figura 4.1).

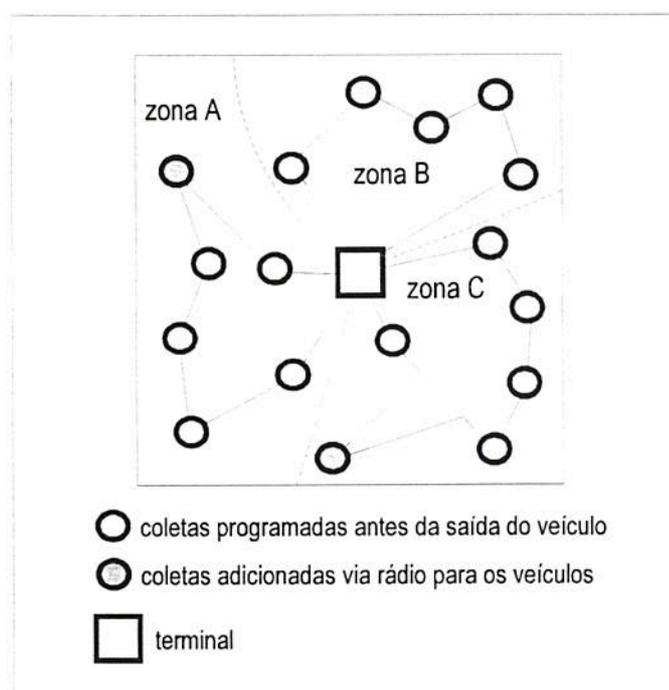


Figura 4.1 - Rede de coleta e entrega em zonas urbanas

As cargas coletadas são transferidas para o terminal onde é iniciado o processo de classificadas por destinos. As cargas são então despachadas em veículos de viagem para

outras filiais da empresa que têm a responsabilidade de reembarcar a carga ou entregar ao cliente final. Estes veículos de viagem possuem rotas e horários de saída pré-definidos e sua capacidade varia em função do nível de demanda existente entre os dois pontos da rede. Geralmente são veículos com maior capacidade que os utilizados nas coletas e entregas locais.

As rotas neste nível são, em sua maioria, diretas entre as duas filiais. Observando a rede de transporte como um todo (figura 4.2), percebe-se uma operação hierarquizada do fluxo de carga.

Existe ainda uma diferenciação que pode ser feita para as viagens entre filiais, visto que algumas dessas funcionam como consolidadores de carga regionais. Essas filiais, denominadas 'Filiais Pólo' permitem, em função do grande volume de carga obtido via consolidação, altas frequências de viagem sem comprometer o índice de ocupação dos veículos.

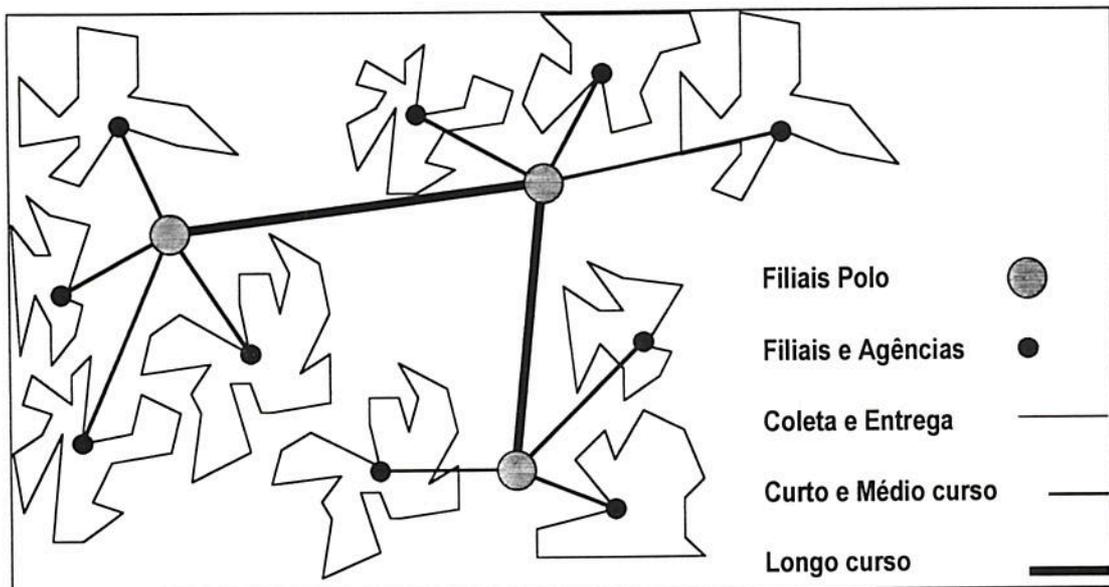


Figura 4.2 - Configuração das operações da empresa sob o ponto de vista da rede logística

Pode-se ainda caracterizar a rede logística quanto à forma de alocação dos veículos dentro da mesma. Para coletas e entregas locais é utilizada predominantemente uma estratégia de roteirização dos veículos ao longo de vários pontos de demanda.

Para o fluxo inter-filial as estratégias adotadas são duas: rotas consolidadas - quando a demanda entre duas filiais é relativamente pequena - e rotas diretas - para níveis de demanda mais expressivos.

4.3.2. Interface terminal/rede de transporte

O próximo nível operacional estabelece a vinculação entre a rede de transporte e as operações do terminal. Este nível, que será aqui denominado 'interface terminal/rede' compreende a alocação dos veículos na plataforma de descarga, a retirada das cargas do seu interior, a retirada do veículo para realização de atividades de suporte (revisão, oficina, lavagem, etc.), a alocação para coletas ou para carregamento e finalmente a liberação para viagem.

No caso da empresa onde foi realizado o estudo de caso, a alocação dos recursos necessários para a operação transbordo está estruturada com base nos níveis de demanda, nas rotas existentes e nos seus respectivos horários de chegada e saída dos veículos. Cada rota, por sua vez, possui horário fixo de saída, sendo necessários, portanto, veículos disponíveis com antecedência para início do processo de carregamento da carga no mesmo. A disponibilidade de veículos em faixas de horários pré-determinadas está condicionada à liberação desses pela área de descarga ou à existência de veículos extras no pátio.

As operações de manuseio de cargas para fins de armazenagem ou transbordo envolvem uma série de atividades secundárias que se destinam a preparar a carga para ser remetida ao seu destino final. Dentre essas atividades encontram-se a descarga do veículo, o processamento da carga, a unitização, a armazenagem no terminal e o carregamento para entrega ou viagem.

O tipo e o tempo de processamento associados a uma carga dependem de suas características intrínsecas, tais como volume, peso unitário, variedade de itens, etc. Sendo assim, existe uma diversidade muito grande de tempos-padrão para cada uma das operações que compõem o processo - diferentemente do que ocorre em indústrias por exemplo.

4.3.3. Terminal de transbordo e armazenagem

Neste terceiro nível encontram-se as atividades de manuseio e armazenagem de cargas. O manuseio de cargas compreende uma seqüência de operações que inicia com a retirada da carga de um veículo, passando por classificações, conferências, armazenagem e termina com a realocação dessa carga em outro veículo. Dependendo das características da carga e da forma de acondicionamento que esta possui há uma maior ou menor demanda por espaço físico e por horas-homem para o seu manuseio.

O processo nos terminais se inicia com a chegada dos veículos de coleta e de viagem (no caso de cargas provenientes de outras filiais). A primeira atividade que é realizada sobre as cargas é conferi-las e separá-las por destino. Em seguida é feita a sua unitização em paletes ou gaiolas¹ para em seguida encaminhar a carga até a área de carregamento.

Paralelamente a este processo são preparados os documentos de viagem que compreendem a geração do conhecimento de carga (nota fiscal do transportador) e do manifesto (documento que relaciona todos os conhecimentos embarcados em um veículo).

Com respeito à atividade armazenagem de cargas, constatou-se que esta não é muito explorada como serviço prestado ao cliente. Normalmente a armazenagem de cargas tem apenas a função de ajustar o horário de chegada e o horário de saída de uma carga do terminal e portanto, esse tempo de permanência varia de algumas horas a um ou dois dias. Portanto, os terminais são utilizados basicamente como consolidadores de carga.

Esta é uma das diferenças fundamentais entre uma empresa de transporte e uma operadora logística, cujo negócio inclui também o serviço de armazenagem de carga e controle destes estoques. A estocagem de carga em terminais requer um infra-estrutura de sistemas de armazenagem, movimentação e controle mais elaborados que nos encontrados em terminais de transbordo.

Algumas das diferenças são: maior grau de verticalização das carga estocadas, sistemas de controle de estoques que permitam gerenciar o tempo de permanência da carga no depósito e a sua localização e sistemas de movimentação verticais mais sofisticados (*e.g.* trans-elevadores).

¹Gaiola é a denominação dada para paletes contentores metálicos com dimensões de 1,20 x 1,20 x 2,20 m utilizados pela empresa para unitização da carga para viagem e para armazenagem dentro do terminal.

4.4. Níveis de decisão e variáveis relacionadas

4.4.1. Gerenciamento da rede de transporte

Para análise da operação da rede de transporte, podem-se elencar as seguintes variáveis de contorno: configuração da rede de cobertura dos pontos de oferta e demanda (distâncias entre os pontos a serem atendidos, rede viária existente, níveis de demanda), número e localização dos terminais existentes, capacidade de carga dos veículos, tamanho da frota, prazos de entrega e tempos de parada dos veículos.

Neste nível de decisão, também conhecido como macro-logístico, busca-se racionalizar a operação da frota com base na configuração física da rede logística, nos níveis de demanda e nos tipos de veículos adequados para cada rota. Tomam-se decisões do tipo:

- ◆ Determinar o número e a localização dos terminais;
- ◆ Avaliar a forma de alocação dos veículos (direta, com consolidação ou roteirizada);
- ◆ Determinar o tamanho e o *mix* da frota para cada nível da rede;
- ◆ Com base na organização da rede, nos níveis de demanda dos pontos atendidos e nas características da carga determinar a frequência ótima de entrega.

4.4.2. Operações de Interface entre o terminal e a rede de transporte

Na análise das operações de interface terminal/rede são consideradas variáveis de ambos os níveis. Com respeito à rede de transporte são necessárias informações relativas aos horários de chegada dos veículos e aos níveis de demanda esperados.

Com relação às atividades do terminal são necessárias informações relativas a área de armazenagem, número de horas-homem disponível por faixa de horário e tempos de processamento das cargas.

Neste nível intermediário, busca-se adequar a capacidade do terminal à demanda proveniente dos veículos de viagem e coleta. O objetivo é minimizar os tempos parados e os

possíveis atrasos dos veículos, decorrentes da operação do terminal. Tomam-se decisões do tipo:

- ◆ Determinação do número de veículos extras alocados na unidade para garantir um determinado índice de confiabilidade para o sistema;
- ◆ Programação dos horários de entrada e saída das equipes a partir da programação de chegada e saída dos veículos e do tempo de processamento das cargas;
- ◆ Determinação do número de plataformas de descarga e carregamento.

4.4.3. Operações do terminal

Como já havia sido mencionado ao final do item 4.3., os terminais funcionam basicamente como consolidadores de cargas. Por essa razão, dentro do contexto do terminal, foi dada ênfase às operações relacionadas com o manuseio de cargas para fins de transbordo.

O manuseio de cargas nos terminais é um processo cuja duração está diretamente vinculado às características das cargas manipuladas (volume, peso unitário, forma, etc.), ao tipo de acondicionamento, à variedade de itens ou destinos e à quantidade de unidades manipuladas.

Neste último nível, busca-se racionalizar as operações de processamento das cargas, dimensionar a capacidade de manuseio e a área física do terminal. Tomam-se decisões do tipo:

- ◆ Definição das rotinas de processamento das cargas;
- ◆ Definição e dimensionamento dos sistemas de movimentação a serem empregados;
- ◆ Definição e dimensionamento dos sistemas de controle a serem empregados;
- ◆ Determinação do número de horas-homem necessárias;
- ◆ Dimensionamento do terminal (área física e lay-out).

4.5. Primeiro nível do modelo: processamento de cargas

A atividade manuseio de cargas possui tempos e custos basicamente associados às características físicas das cargas e aos equipamentos utilizados. Além disso, o processo de manuseio de carga é formado por uma seqüência de operações que, na maioria das vezes, possuem tempos-padrão e variabilidade diferenciados de acordo com o tipo de carga.

Para quantificar e avaliar este processo, optou-se pela montagem de um conjunto de funções de regressão múltipla, cujas variáveis independentes foram as características das cargas manuseadas e a variável de resposta a duração das operações.

Com esse modelo analítico foi possível explorar alternativas que possibilitassem um aumento de capacidade do processo, a melhora no índice de produtividade e uma redução dos custos associados. Também a partir deste modelo foi possível desenvolver modelos para a avaliação do impacto de mudanças do tempo de processamento sobre outros níveis de operação. A construção de funções associando as características das cargas manipuladas com a duração do seu manuseio e com o número necessário de horas-homem também serviram como base para montagem de um sistema de custeio² que permitiu identificar os custos do terminal de forma diferenciada de acordo com as características das cargas.

Método de trabalho

Para a construção das referidas funções, optou-se por um método de trabalho composto das seguintes etapas:

1. Mapeamento do processo do terminal;
2. Identificação dos principais parâmetros que determinam a duração das operações;
3. Coleta de dados;
4. Estimação de funções que determinam o tempo de processamento das cargas;
5. Análise dos resultados obtidos.

²A construção de um modelo de custeio baseado nas funções descritas foi realizado em paralelo a este estudo de caso. O modelo de custeio não é descrito por estar fora do escopo deste estudo.

4.5.1. Mapeamento do processo do terminal

Na empresa onde foi realizado o estudo de caso, o processamento das cargas no terminal foi dividido em dois setores: recepção e carregamento.

O setor de recepção compreende três blocos de operações que são executados seqüencialmente: descarga, pré-classificação e classificação. A operação de descarga compreende a retirada das cargas da carreta ou baú até o terminal. A operação de pré-classificação compreende a separação das cargas por destino ou por código de produto (no caso de cargas não marcadas). A operação classificação compreende a marcação, a unitização e a conferência final das cargas. O processo de manipulação de cargas pode ser representado pelo seguinte fluxo:

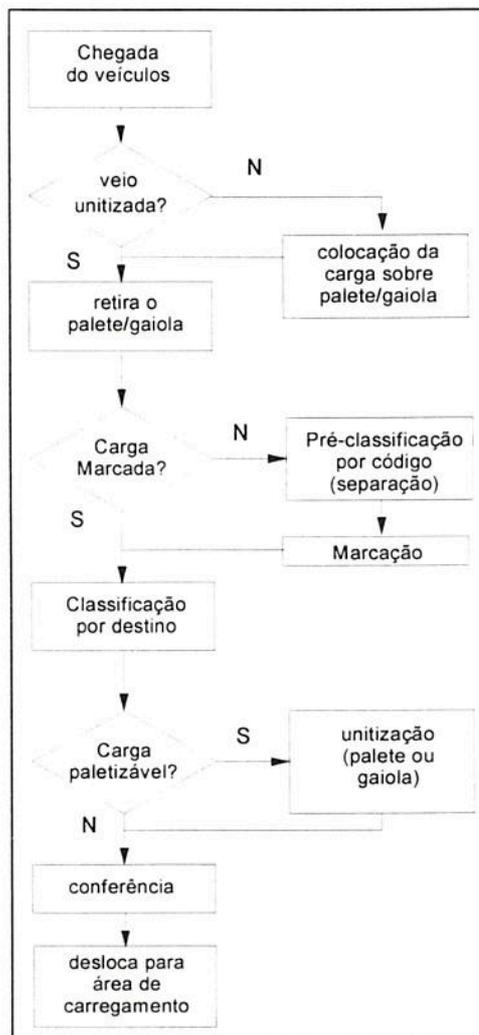


Figura 4.3 - Fluxograma do processo de recepção de cargas

O processo no setor de carregamento compreende: montagem de paletes/gaiolas, deslocamento até os veículos e arrumação das cargas dentro dos veículos. O processo de carregamento pode ser descrito pelo seguinte fluxograma:

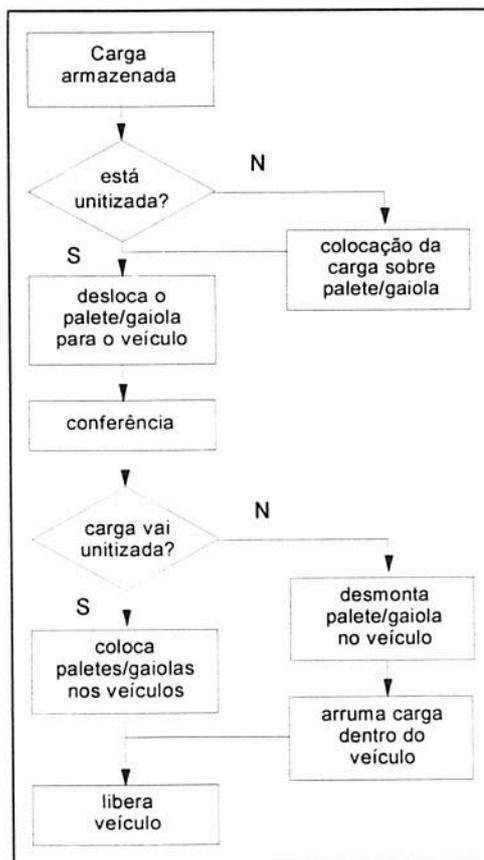


Figura 4.4 - Fluxograma do processo de carregamento de cargas

O processo global do terminal pode ser representado simplificada pelo seguinte esquema (figura 4.5):

1. montagem dos paletes/gaiolas para retirada dos veículos;
2. retirada das cargas para dentro do terminal;
3. pré-classificação das cargas;
4. classificação por destino (marcação, unitização e conferência);
5. armazenagem no terminal e consolidação de carga;
6. montagem de paletes/gaiolas para deslocamento até os veículos;

7. conferência da carga por destino;
8. movimentação das cargas até os veículos;
9. arranjo das cargas dentro dos veículos.

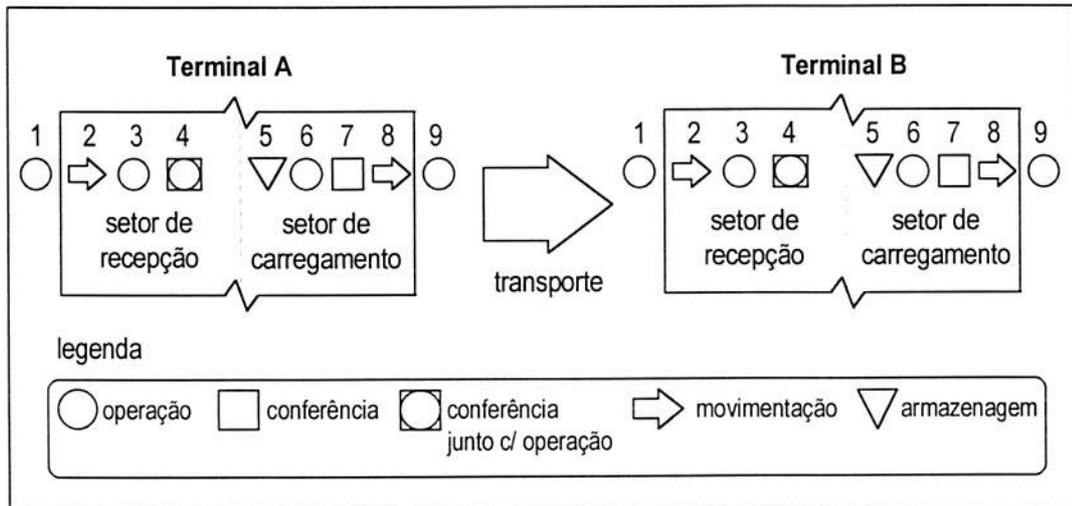


Figura 4.5 - Esquema global do processo de cargas no terminal

4.5.2. Identificação dos parâmetros que determinam a duração das operações

Com base no acompanhamento das operações realizadas sobre as cargas no terminal e em discussões realizadas com a gerência de operações e os encarregados do setor de recepção foi montada uma matriz (quadro 4.1.) que orientou a construção das funções representativas das operações do terminal.

Processo	Descarga	Pré- Classificação	Classificação	Carregamento
Parâmetros				
Unitização (no remetente) [s/n]	⊗			⊗
volume [m ³ /unidade]	⊗			⊗
Peso [Kg/unidade]	⊗	⊗	⊗	⊗
Marcação (no remetente) [s/n]			⊗	
Variedade [itens/nota]		⊗	⊗	
Nº de unidades [un.]	⊗	⊗	⊗	
Nº de auxiliares	⊗	⊗	⊗	⊗

Quadro 4.1. - Matriz de Relações entre Processo e Características das Cargas/Recursos utilizado

É importante salientar que a identificação dos parâmetros que afetam a duração de cada uma das operações baseou-se, nesta etapa, exclusivamente em percepções obtidas a partir da observação do processo e das discussões realizadas. Na etapa de estimação das funções, que será apresentada a seguir, foi feita a confrontação entre estas percepções e os índices de significância de cada uma das variáveis presentes nas funções.

4.5.3. Operação de Descarga

Como foi apresentado no fluxograma do processo de recepção de cargas (figura 4.2), a operação de Descarga pode ser realizada sobre carga solta ou sobre a carga unitizada. A diferença básica entre estas duas formas de acondicionamento da carga reside na necessidade de ser efetuada a montagem de paletes de carga dentro da carreta ou baú antes do seu deslocamento até o terminal. Portanto, a descarga de carga solta compreende a montagem de paletes ou gaiolas e o deslocamento dos mesmos enquanto que a descarga de carga unitizada só necessita do deslocamento até o terminal.

A partir da observação da realização de ambos os tipos de descarga no terminal, foram identificados os seguintes parâmetros que condicionam a duração desta operação: (1) peso por unidade; (2) volume cúbico por unidade; (3) unitização ou não do carregamento e; (4) número de auxiliares envolvidos na montagem dos paletes/gaiolas.

A partir da identificação dos 4 parâmetros supracitados, buscou-se estimar uma função representativa do tempo padrão da operação descarga (d_D), a qual foi dividida em dois termos: montagem dos paletes/gaiolas ou unitização da carga solta (d_U) e movimentação dos paletes/gaiolas até o terminal (d_M). Para o termo referente a montagem dos paletes/gaiolas foram utilizadas as seguintes variáveis: peso unitário médio dos volumes - PU -; volume cúbico por unidade - VOL - e número de auxiliares - AUX - envolvidos na montagem dos paletes/gaiolas. Para o termo referente ao deslocamento utilizou-se a apenas a variável volume cúbico por unidade - VOL -. O uso de apenas esta variável na função descarga se deve a duas razões: (1) o tempo de deslocamento de um palete/gaiola entre a carreta e a área de recepção é de um minuto em média e; (2) a restrição do número de volumes transportados para a maioria dos casos é função do tamanho das caixas colocadas sobre o palete/gaiola. Sendo assim, quanto maiores forem os volumes, menor será a quantidade de volumes deslocados por um palete ou gaiola.

Para determinação do tempo padrão da operação Descarga (d_D) basta apenas somar as parcelas relativas às atividades unitização (d_U) e movimentação (d_M). Com os dados levantados no terminal, obteve-se a seguinte função empírica para o tempo padrão da operação Descarga:

$$d_D = d_U + d_M \quad (1)$$

$$d_U = x * 0,024 * AUX^{-0,59} * PU^{1,33} * VOL^{-0,7} \quad (1a)$$

$$d_M = 21,77 * VOL^{0,81} \quad (1b)$$

onde: d_D é o tempo padrão da operação descarga [seg./unid];

AUX entre 2 e 3 [número de auxiliares];

PU peso médio por unidade em [Kg/unidade];

VOL volume médio por unidade em [m³/unidade];

x igual a 0 [carga já unitizada] ou 1 [carga solta];

Os coeficientes de explicação r^2 obtidos para as funções 1a (unitização da carga) e 1b (deslocamento dos paletes/gaiolas) foram 0,89 e 0,95 respectivamente.

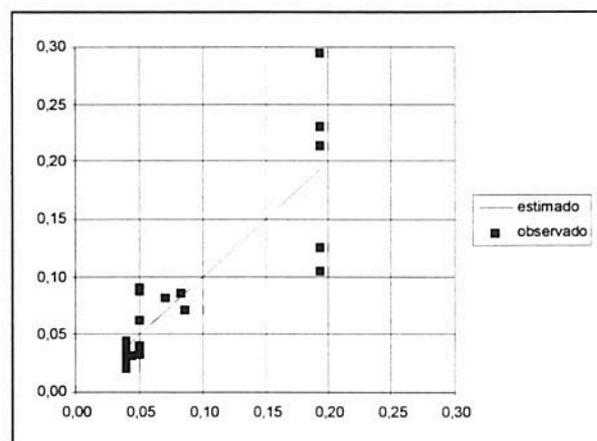


Gráfico 4.1 - resíduos da função unitização da carga em paletes ou gaiolas (nº observações: 21)

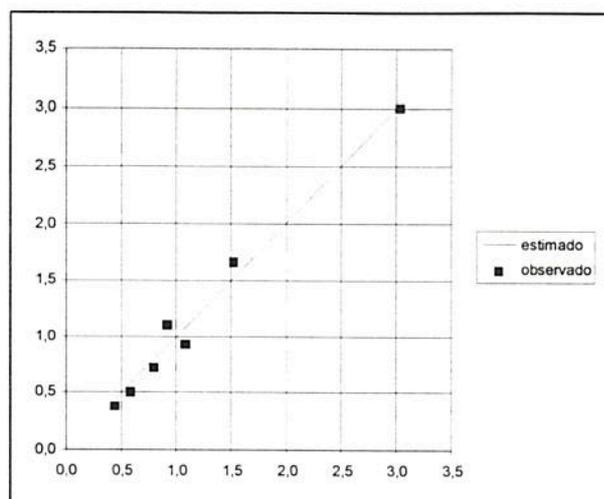


Gráfico 4.2 - resíduos da função deslocamento da carga unitizada (nº observações: 7)

Para o cálculo do tempo de descarga total (D_D) foi necessário apenas multiplicar o tempo padrão de descarga (d_D) pelo número de volumes descarregados (NV). A expressão resultante para o tempo total de descarga foi:

$$D_D = \frac{NV * d_D}{60} \quad (2)$$

onde: D_D é a duração total operação descarga [minutos];

NV é o número de volumes descarregados [unidades];

Observação: O número 60 converte o tempo de segundos para minutos.

4.5.4. Operação de Pré-Classificação

Quando as cargas vêm misturadas e não marcadas é feito um trabalho de Pré-Classificação da carga que consiste em agrupar os diversos itens por código de produto.

A operação de Pré-Classificação pode ser eliminada quando as cargas são marcadas na sua origem e embarcadas seguindo um critério de agrupamento por cliente ou praça de destino. No caso da carga já vir marcada, executa-se diretamente a classificação por praça de destino.

Os principais parâmetros que afetam a operação Pré-Classificação são: (1) peso por unidade; (2) número de unidades e; (3) variedade de itens. As variáveis utilizadas para estimar a função duração (D_p) da operação Pré-Classificação foram o peso unitário médio dos volumes -PU -, o número de unidades - NV - e a variedade de itens - VAR -. A expressão obtida foi a seguinte:

$$D_p = 0,012 \cdot VAR^{0,33} \cdot PU^{1,04} \cdot NV^{0,86} \quad (3)$$

onde:

- D_p é a duração total da Pré-Classificação [minutos];
- VAR em [nº médio de códigos por nota (no caso de cargas não marcadas) ou nº médio de praças de destino (cargas marcadas)];
- NV número de volume em [unidades];
- PU peso médio por unidade em [Kg/unidade].

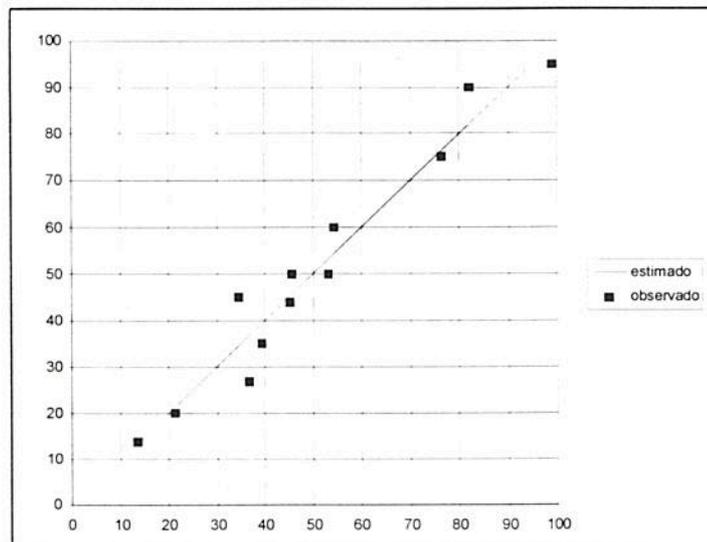


Gráfico 4.3 - resíduos da função pré-classificação da carga (nº observações: 12)

O coeficiente de explicação r^2 obtido para a função 3 (Pré-classificação) foi 0,91.

4.5.5. Operação de Classificação (Marcação/Unitização/Conferência)

A operação de classificação das cargas é feita a partir das informações contidas na nota fiscal, onde se identificam a procedência, a destinação (praça e cliente), número de volumes e seus respectivos dados de caracterização (código, modelo, etc.). Junto a esta operação se desenvolvem várias atividades complementares, entre as quais destacam-se a marcação dos itens (quando estes não vierem marcados da origem), a unitização da carga por destino (quando for possível) e a conferência final dos itens processados.

A duração da operação classificação é dependente dos seguintes parâmetros: (1) peso por unidade; (2) número de unidades; (3) variedade de itens e; (4) marcação ou não no remetente (seja este filial ou cliente). Conforme os atributos presentes em uma determinada carga, percebe-se uma diversidade tanto em termos de atividades envolvidas no processamento da carga como em termos de duração das atividades.

A função representativa da operação Classificação foi construída a partir das variáveis número de auxiliares - AUX - , peso unitário médio dos volumes - PU-, número de unidades - NV - e a variedade de itens - VAR. Com os dados obtidos, obteve-se a seguinte função empírica para a duração da operação Classificação (D_C):

$$D_C = 0,47 \cdot \text{AUX}^{-0,24} \cdot \text{PU}^{0,52} \cdot \text{MARC} \cdot \text{VAR}^{0,07} \cdot \text{NV}^{0,53} \quad (4)$$

onde:

- D_C é a duração total da Classificação [minutos];
- AUX entre 2 e 3 [número de auxiliares];
- MARC igual a [2 para cargas não marcadas e 1 para cargas marcadas];
- NV número de volumes em [unidades];
- VAR em [nº médio de códigos por nota (no caso de cargas não marcadas) ou nº médio de praças de destino (cargas marcadas)].

O coeficiente de explicação r^2 obtido para a função 4 (Classificação) foi 0,95.

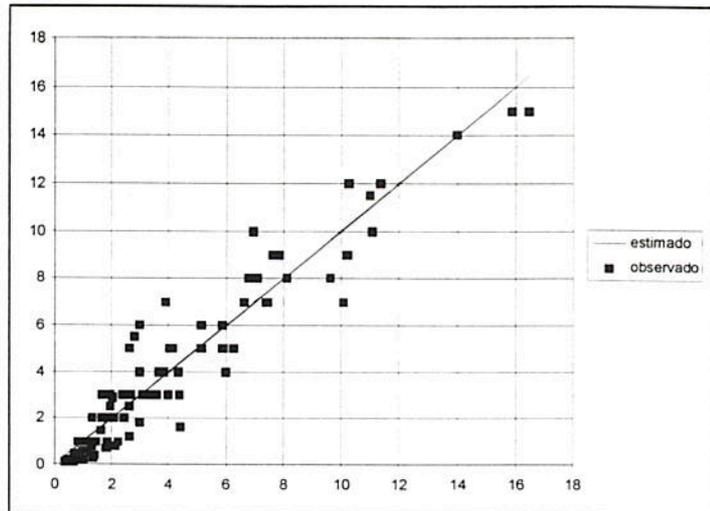


Gráfico 4.4 - resíduos da função classificação - marcação/unitização e conferência. (nº obs.: 95)

Portanto o tempo de processamento total (D_T) pode ser obtido através da soma das funções 2, 3 e 4 como segue:

$$D_T = D_D + D_P + D_C \quad (5)$$

4.5.6. Análise de cenários através das funções estimadas

A aplicação destas funções na área de processamento de cargas teve por objetivo investigar o impacto de mudanças na forma de operação e acondicionamento das cargas manipuladas em termos de capacidade, tempo de processamento e custos associados.

A partir de indagações colocadas pela empresa, foram construídos alguns cenários onde políticas de operação puderam ser avaliadas. As questões levantadas foram as seguintes:

- ◆ Quais seriam os impactos decorrente de uma política de unitização mais intensa;
- ◆ Quais seriam os impactos decorrentes de um aumento de cargas já marcadas na origem;

Avaliação preliminar das duas questões

Partindo do objetivo proposto para esta seção do trabalho - investigar mudanças na operação do terminal através das funções estimadas - foi feita uma avaliação preliminar das duas questões propostas pela empresa. Esta pré-avaliação permitiu priorizar a questão que apresentava maior impacto sobre as operações do terminal e da frota, visto que uma análise de todas as possibilidades demandaria muito tempo e extrapolaria os objetivos deste trabalho.

A avaliação preliminar das questões unitização e marcação partiu da aplicação de valores médios dos parâmetros de carga observados na filial PA (quadro 4.2) sobre as funções estimadas.

variável	descrição	unidade	média	desvio	mínimo	máximo	nº observações
PU	peso unitário	Kg/unidade	12,5	9,2	3,4	63,8	55
VOL	volume unitário	m ³ /unidade	0,020	0,015	0,007	0,11	55
VAR	variedade de itens	unidade	9,0	11,3	1	77	150
VPa	volume sobre palete	m ³ /palete	1,51	0,67	0,86	2,45	32
VGa	volume sobre gaiola	m ³ /gaiola	1,67	0,71	0,86	2,59	15

Quadro 4.2 - Resumo do perfil da carga manipulado pela filial Porto Alegre

A unitização da carga foi desmembrada em duas avaliações: cargas simplesmente unitizadas e cargas unitizadas por destino.

A carga simplesmente unitizada traz como vantagem a eliminação da necessidade de montagem de paletes/gaiolas dentro do veículo antes de realizar a retirada das cargas. Portanto esta forma de operação reduz apenas o tempo da operação descarga.

Para a avaliação da unitização da carga foi calculado o ganho percentual, em termos de redução de horas-homem, tomando-se a diferença entre os valores obtidos pela função 5. O resultado está apresentado no gráfico 4.5 para diversas quantidades de volumes:

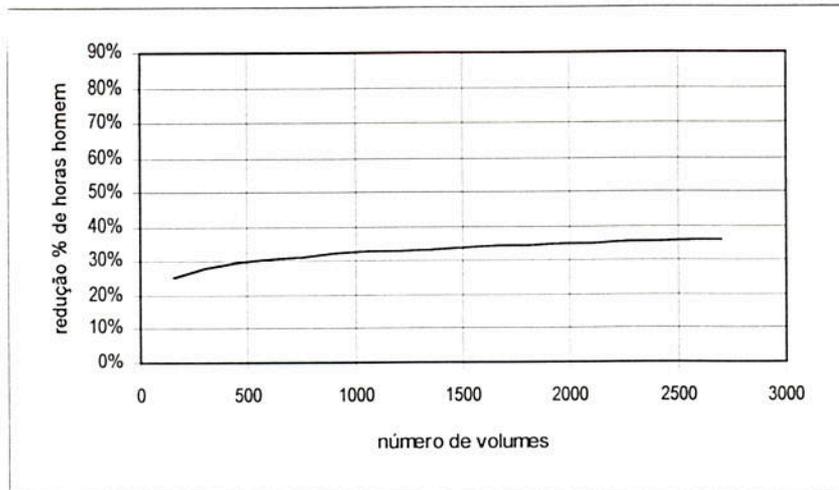


Gráfico 4.5 - redução % das horas-homem no processo quando a carga passa a ser unitizada

A carga unitizada por destino não necessita ser desmembrada no terminal para classificação e conferência de cada um dos volumes que a compõem. O ganho percentual obtido para essa situação foi obtido através de uma modificação sobre a função 2. Como sobre a carga unitizada por destino não existe pré-classificação nem classificação, o tempo de processamento da carga pode ser aproximado tomando-se o tempo de retirada da carga do veículo (obtido pela função 2) e aplicando sobre este uma majoração de 150%, correspondente ao tempo de descarga e de conferência da carga para armazenagem ou carregamento. Portanto a função representativa do tempo de processamento para cargas unitizadas por destino pode ser descrita da seguinte forma:

$$D_T = (1 + 1,5) \cdot D_D \quad (6)$$

O gráfico 4.6 apresenta esta situação. É importante salientar que o tamanho das equipes utilizadas no processo foi reduzido para 2 auxiliares e 1 conferente visto que não há trabalho intensivo de manipulação de cargas como existe nas outras situações.

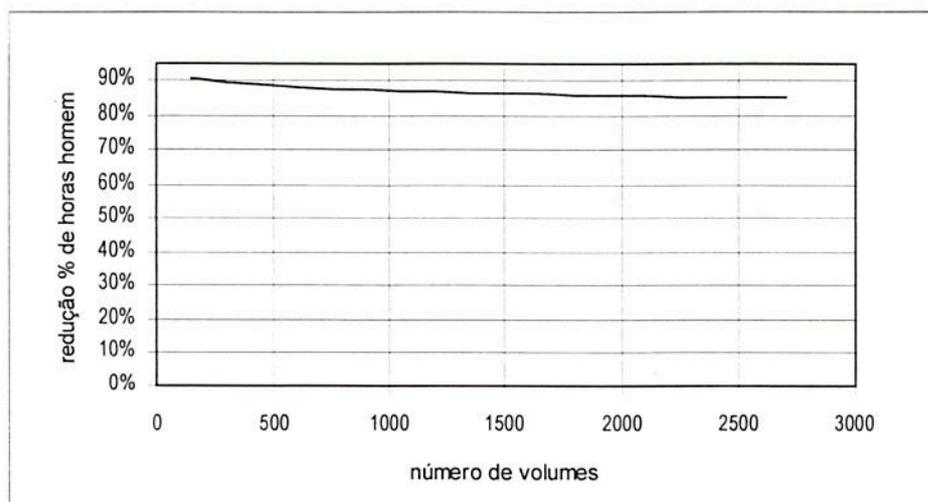


Gráfico 4.6 - redução das h.h. quando a carga unitizada passa a ser roteirizada

A carga marcada na origem, como já havia sido mencionado antes, permite a eliminação da operação Pré-Classificação. A quantificação dos seus benefícios também partiu do cálculo dos ganhos percentuais - em termos de redução de horas-homem - a partir do uso da função função 5.

O resultado dos ganhos para essa situação está apresentado no gráfico 4.7 para diversas quantidades de volumes:

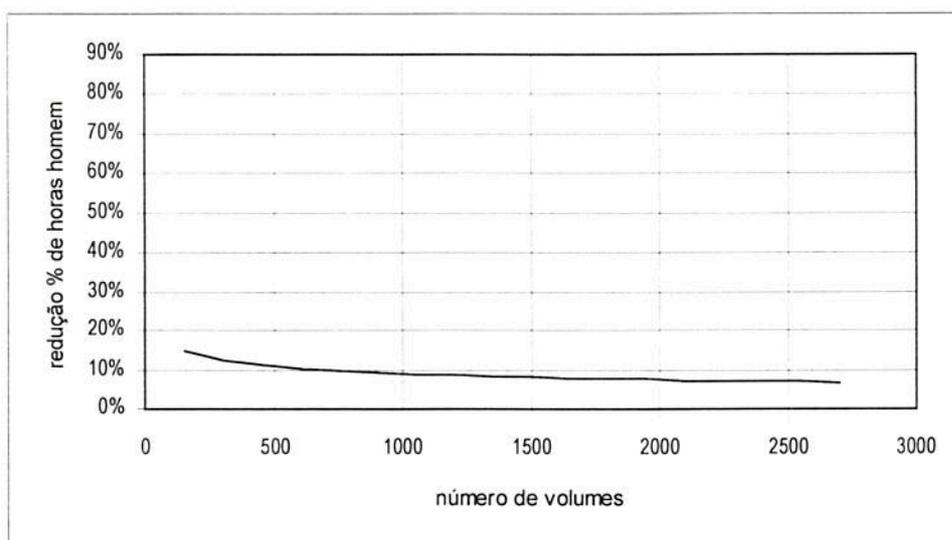


Gráfico 4.7 - redução % das h.h. do processo quando a carga passa a ser marcada

Considerando os resultados apresentados, foi priorizada a análise da primeira questão, visto que o impacto da unitização de cargas mostrou-se bem mais significativo que a marcação.

Contexto de análise da política de unitização de cargas

A unitização da carga dentro dos terminais da empresa pode ser feita em dois momentos: quando a carga é classificada pelo setor de recepção ou quando a carga é deslocada para o veículo pelo setor de carregamento. A unitização pode ainda ser feita diretamente pelo cliente quando é feita a coleta da carga. Os benefícios da unitização de cargas são:

- ◆ redução dos tempos de carregamento (operações 6 a 9 da figura 4.5.) quando a unitização é feita pelo setor de recepção;
- ◆ redução dos tempos de processamento das cargas quando estas chegam no setor de recepção do outro terminal da empresa (operações 1 a 4 para cargas unitizadas por destino e operação 1 para cargas simplesmente unitizadas);
- ◆ por decorrência dos pontos supracitados há uma redução de horas-homem e de área utilizada no terminal;
- ◆ redução dos tempos mortos dos veículos aguardando para serem descarregados.

Como pode-se perceber, em algumas situações existe um repasse do ônus do esforço de unitização para outro terminal. Entretanto, dependendo da forma de unitização da carga, este esforço pode ser compensado com grande vantagem.

Por exemplo, se a carga for unitizada por destino pelo setor de recepção do terminal A (figura 4.6), o benefício repercutirá sobre todas as operações subseqüentes daquele terminal e ainda sobre o terminal seguinte (B).

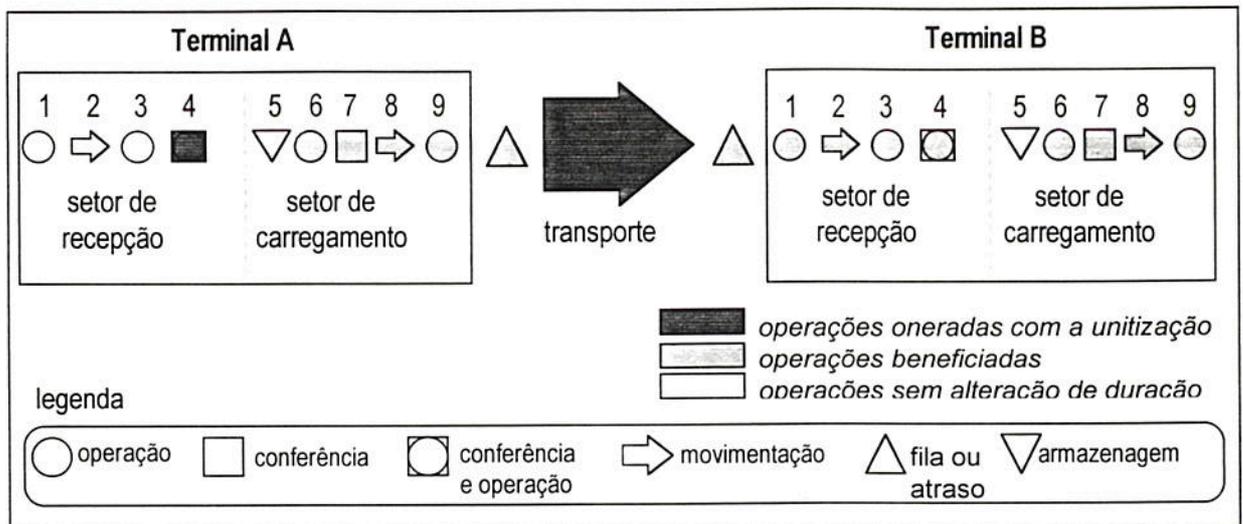


Figura 4.6 - Operações beneficiadas com a unitização de carga por destino

Como pode ser visto pela figura 4.6, o ônus da unitização da carga ocorre em dois pontos do processo, na unitização da carga (operação 4 - classificação por destino e montagem do palete) e no transporte da carga. A razão pela qual o transporte acaba sendo onerado é o fato de que a carga colocada sobre paletes normalmente gera uma ociosidade na ocupação do veículo (figura 4.7).



Figura 4.7 - Ocupação da capacidade em veículos com carga solta e unitizada

Considerando que o ônus da montagem do palete no terminal A é compensado pelo benefício da não necessidade de montagem de palete no terminal B, o *trade-off* existente compreende a soma dos benefícios das operações 4 a 9 do terminal A e 2 a 9 no terminal B *versus* o ônus da redução de utilização do veículo, ou seja, custos do terminal *versus* custos de transporte.

No caso da unitização não ser por destino e ser feita pelo setor de recepção do terminal A (operação 4), o ônus da unitização compensa o benefício recebido pela operação descarga no terminal B. Nesta situação, o *trade-off* fica restrito à soma dos benefícios sobre as operações 6 a 9 do terminal A *versus* o ônus da redução de utilização do veículo (figura 4.8).

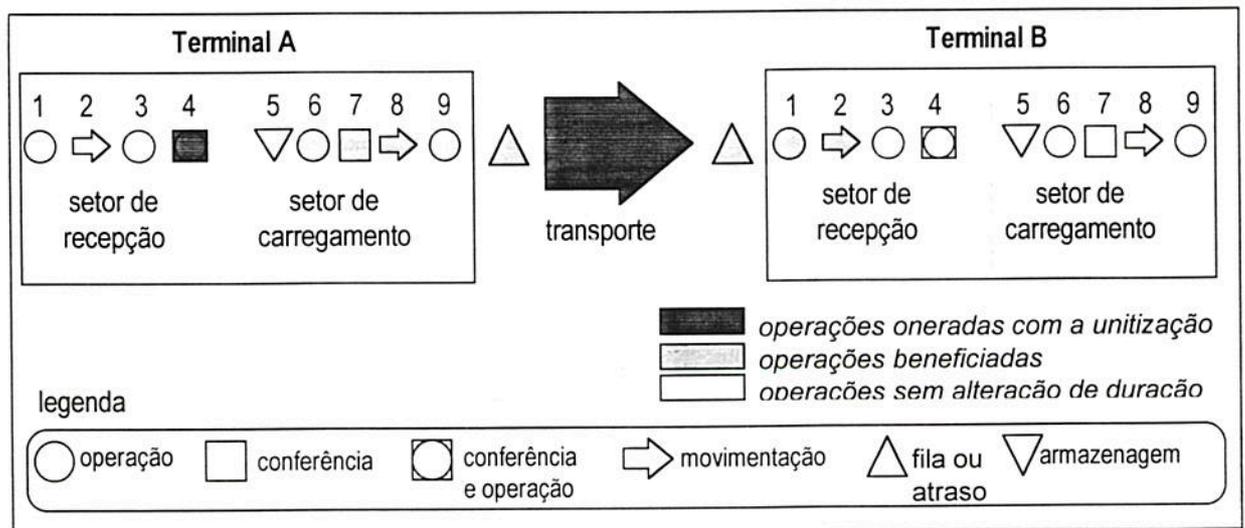


Figura 4.8 - Operações beneficiadas com a unitização de carga

Para ambos os casos, percebe-se ainda que a unitização da carga contribui para redução do tempo médio de fila dos veículos aguardando para serem descarregados no terminal B e dos possíveis atrasos nos horários de saída dos veículos no terminal A.

Dependendo das características das cargas manipuladas, do número de pontos de transbordo e das distâncias a serem percorridas pode ser ou não interessante unitizar a carga. Quanto maior for a distância, tanto maior será o ônus da ociosidade imposto pela carga unitizada para o veículo. Por outro lado, para distâncias menores, o custo dos

terminais começa a se tornar mais expressivo, justificando a unitização da carga. A análise que segue, pretende ilustrar estas duas afirmações.

Análise do trade-off custos de terminal versus custos de transporte

Para a análise do *trade-off* custos do terminal *versus* custos de transporte foram utilizados os seguintes dados:

- ◆ dados de caracterização da carga;
- ◆ tempos de processamento estimados com base nas funções de regressão (5) e (6);
- ◆ custos diretos (decorrentes do processamento das cargas) e indiretos do terminal (e.g. administrativo, comercial e de coleta e entrega);
- ◆ custos de transporte;

Os dados utilizados para esta análise (ver quadro 4.3.) foram então colocados em uma planilha de cálculo que permitiu a determinação da distância máxima que uma carga pode ser transportada unitizada com custos menores que uma carga solta.

	Variável	valor	unidade
Caracterização da carga	peso unitário	5	[Kg]
	densidade	300	[Kg/m ³]
	variedade	9	[unidades]
	demanda	17000	[unidades/semana]
	volume de cada unidade	0,017	[m ³ /unidade]
Lotação do veículo	capacidade da carreta (peso)	22000	[Kg]
	capacidade da carreta (volume)	75	[m ³]
	lotação de unidades em volume	4050	[unidades]
	lotação de unidades em peso	3960	[unidades]
	capacidade de carga c/ unitização	2877	[unidades]
Custos de transporte e infra-estrutura	custo por Km rodado	1,20	[R\$/Km]
	custo do veículo parado	16,67	[R\$/hora]
	marcação unidade ou palete	0,01	[R\$/volume]
	montagem do palete/gaiola	2,36	[R\$/hora]
	movimentação	2,62	[R\$/hora]
	pré-classificação	2,49	[R\$/hora]
	classificação	2,49	[R\$/hora]
	Unitização	18,70	[R\$/hora]
	Estocagem	0,01	[R\$/hora]
Arrumação (apenas para carga solta)	2,71	[R\$/hora]	

Quadro 4.3 - Dados ilustrativos para a apresentação do trade-off custos de terminal versus de transporte

O resultado desta análise pode ser observado pelo gráfico 4.8., que apresenta, para várias formas de acondicionamento, o custo unitário correspondente a uma determinada distância transportada.

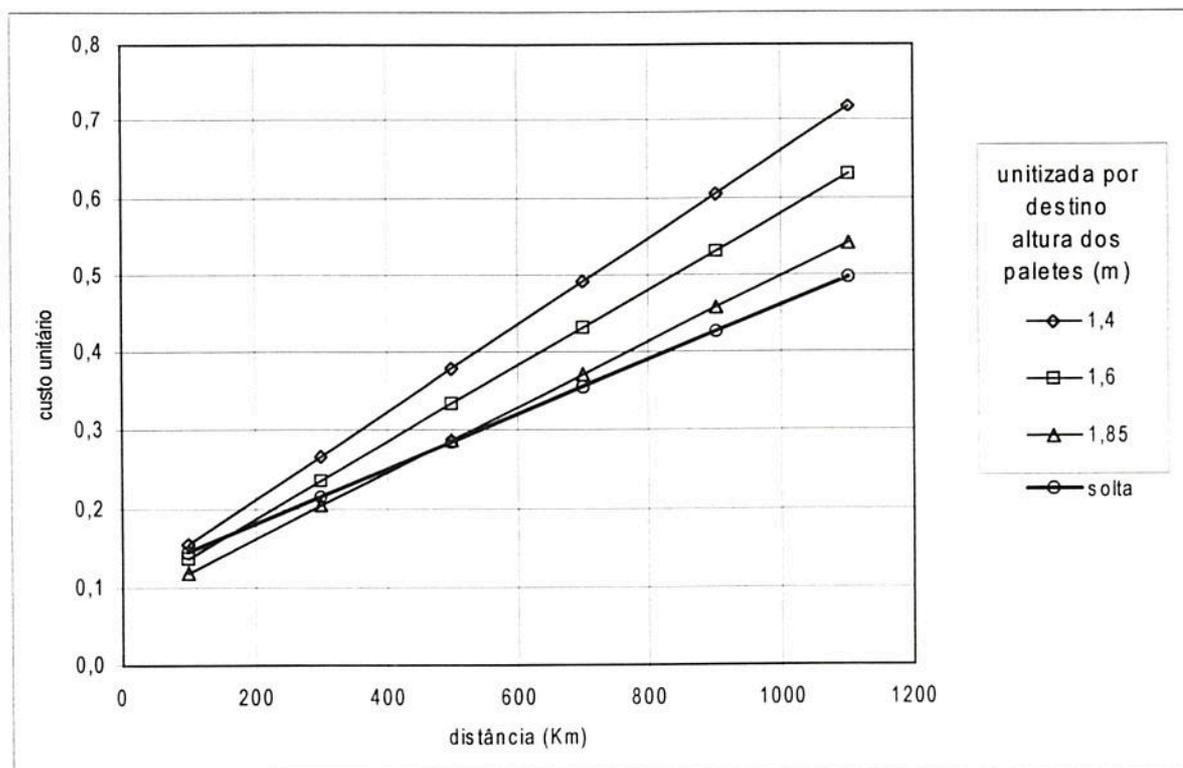


Gráfico 4.8 - trade-off custos de terminal versus de transporte para diversas situações de acondicionamento

Pelo gráfico acima pode-se perceber que o aumento da altura dos paletes de 1,6 para 1,85 m propiciou um aumento da distância a partir da qual a carga solta tem um menor custo unitário (de 170 Km para 500 Km). Cargas unitizadas em paletes com altura de 1,4 m sempre apresentaram um custo unitário maior que o da carga solta. É importante ressaltar que os pontos de quebras apresentados neste exemplo são relativos ao transporte e manipulação de uma carga com as características relacionadas no quadro 4.3. Para cargas com outras características a configuração do gráfico seria diferente desta.

O exemplo acima também considerou que não foram feitos reembarques da carga. Caso tivessem ocorridos reembarques, o custo relativo aos terminais seria bem mais significativo, o que aumentaria ainda mais o benefício da unitização (e a distância que poderia ser percorrida com ociosidade do veículo).

Também foi feita uma análise de sensibilidade do modelo, de modo que fosse possível verificar se pequenas mudanças sobre as características da carga afetavam significativamente o ponto de quebra entre os custos unitários de cargas soltas e cargas unitizadas (gráfico 4.9).

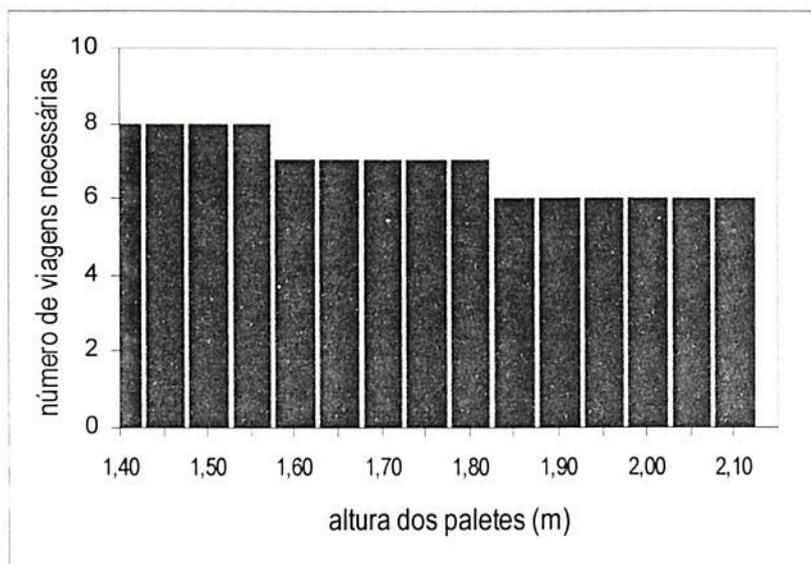


Gráfico 4.9 - análise de sensibilidade do ponto de quebra, em termos de número de viagens, entre os custos da carga solta versus a unitizada para diversas alturas de unitização da carga

Eventualmente, há descontinuidades quando o número de viagens necessária cai. Nesses momentos a distância crítica aumenta porque a carga da viagem eliminada foi redistribuída nas viagens remanescentes, propiciando uma melhor utilização dos veículos e por conseguinte, um menor custo unitário para a carga unitizada.

Em alguns caso portanto, um pequeno ganho na altura de unitização pode representar uma significativa oportunidade de redução de custos sobre a operação. Uma vez estabelecida a altura de unitização desejada, é possível realizar uma análise de qual é a melhor solução para a unitização das cargas a serem transportadas.

4.5.7. Considerações quanto ao uso das funções

A partir do uso de funções representativas dos tempos das operações que compõem o processamento de cargas foi possível avaliar o *trade-off* custos de terminal *versus* custos

de transporte e quantificar alguns dos benefícios decorrentes de mudanças sobre a política de unitização de carga vigente.

Essas funções também podem ser de grande valia para estabelecer estratégias diferenciadas para o tratamento de clientes, bem como para verificar os custos incorridos pela utilização dos terminais de transbordo visto que o peso, o valor e a distância não são adequados para mensurar o esforço gasto para manipular as cargas nos terminais.

É importante destacar que a avaliação de técnicas de operação que afetam a capacidade de processamento do terminal, como a de unitização da carga por exemplo, devem ser feitas a luz de outros parâmetros que englobam questões como flexibilidade de arranjo nos veículos, segurança no acondicionamento, etc. Entretanto não faz parte do escopo deste trabalho avaliar as possíveis formas de acondicionamento da carga (*e.g.* paletes, gaiolas, “strech-wrap”).

No entanto, é perceptível que esses benefícios não ficam restritos aos processos do terminal de cargas. Como já foi mencionado, a aceleração do processamento das cargas traz também como benefício a redução dos tempos de fila dos veículos que aguardam para serem descarregados e, além disso, oferece condições para que o sistema opere com maior confiabilidade. Para a incorporação destas questões é necessário o uso de outra categoria de ferramentas, como será visto na próxima seção deste capítulo.

4.6. Segundo nível do modelo: Interface terminal/rede

Um dos pontos fundamentais na prestação de um serviço de transporte competitivo diz respeito à confiabilidade do sistema. Este problema torna-se particularmente crítico quando se trata do transporte de cargas com pontos de transbordo.

Quando o serviço de transporte envolve transbordo, seja dos veículos de coleta e entrega para os veículos de viagem ou entre os veículos de viagem, os processos de carregamento e de recepção apresentam-se como pontos de grande variabilidade dentro do serviço. Isto se deve principalmente à diversidade de características das cargas e às oscilações de demanda que estas apresentam. Além disso, a eficiência dos terminais de transbordo pode ser afetada pelo desempenho da operação da frota, visto que o seu dimensionamento também foi influenciado pela programação de chegadas e saídas que ocorrem durante um dia de operação.

Conseqüentemente, o atendimento do serviço com um determinado nível de confiança requer recursos e políticas de operação que levem em conta todos estes pontos de variabilidade no processo. Quanto maiores forem estas variabilidades, menor será a confiabilidade do sistema ou maior será a necessidade de veículos extras em cada terminal.

A operação nos terminais de transbordo e armazenagem

A operação nos terminais de transbordo e armazenagem envolve a descarga dos veículos, o processamento e a armazenagem das cargas e a sua distribuição ou transbordo para outras filiais. Entre a recepção e o carregamento também são realizadas a revisão, a manutenção e o abastecimento dos veículos. Como cada terminal de transbordo utiliza os mesmos veículos para reembarcar as cargas, o intervalo entre o início da descarga e o término do carregamento deve ser suficiente para essas operações.

Devido a esta realidade, sempre que houver atrasos excessivos na chegada de veículos para serem descarregados poderá ocorrer falta de veículos para a área de carregamento dentro das faixas de horário estabelecidas, acarretando atrasos na saída dos veículos. Da mesma forma, altos tempos de descarga - para cargas soltas os tempos podem ser superiores a 4 horas de duração, dependendo do tipo de carga e da sua quantidade -

também podem afetar a disponibilidade de veículos, visto que o tempo de descarga é um tempo morto em termos de utilização do veículo.

A falta devido a esses atrasos poderia ser suprida com veículos extras no pátio do terminal, uma solução que, no entanto, não é desejada. Outra decorrência dos atrasos na chegada é o desbalanceamento da oferta de equipes para o processamento das cargas, tanto no setor de recepção como de carregamento, visto que estas tem seus horários de trabalho estabelecidos com base nos horários esperados para chegada e saída dos veículos.

A sobreposição apresentada na figura 4.9 entre os horários requeridos para início do carregamento dos veículos e a liberação dos veículos pela área de descarga pode trazer como resultados duas situações: (1) atrasos periódicos nos horários de saída dos veículos e (2) necessidade de veículos extras para evitar conflito entre a liberação de veículos e os horários requeridos para início do carregamento.

A redução do tempo de processamento na área de recepção de cargas é importante não só pela redução de horas-homem e pelo aumento de capacidade do terminal, mas também devido ao fato de permitir uma redução dos tempos mortos incorridos pelos veículos que esperam para ser descarregados.

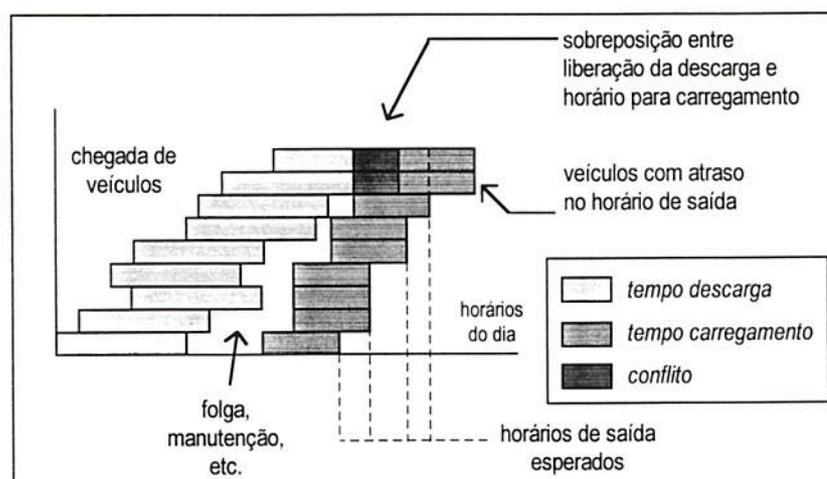


Figura 4.9 - Efeito dos atrasos nos horários de chegada e dos tempos de descarga dos veículos

Como havia sido referido anteriormente, cada equipe só processa uma carga por vez. Portanto, se houver 6 veículos para serem descarregados e 4 equipes, os quatro primeiros poderão ser liberados assim que a operação descarga estiver concluída. No

entanto os dois últimos veículos terão que aguardar o término do processamento de duas equipes para começarem a ser descarregados.

A alternativa de priorizar a operação descarga de todos os veículos simultaneamente necessitaria, na maioria dos casos, de uma área pulmão de terminal excessivamente grande para liberar os veículos sem processar a carga. Ou seja, para agilizar a liberação de carretas pode-se aumentar a velocidade de processamento das cargas ou aumentar a área de armazenagem do terminal. Logicamente que, antes de se pensar nesta segunda alternativa deve-se esgotar todas as possibilidades da primeira (aumentar a velocidade de processamento). Dentre as alternativas para se aumentar a velocidade de processamento pode-se implementar uma mudança na forma de acondicionamento da carga que chega ao terminal (passando de não unitizada para unitizada).

A análise que segue pretende investigar de que forma é possível melhorar a confiabilidade do sistema - em termos de redução de atrasos de saída - a partir da adoção de duas políticas distintas: política de unitização de carga (que interfere sobre o tempo de processamento) e política de gerenciamento da frota (que interfere sobre os atrasos nos horários de chegada). Espera-se obter subsídios para avaliação das seguintes situações:

- ◆ Política de unitização de carga adotada x confiabilidade do sistema;
- ◆ Política de unitização de carga adotada x número de carretas necessárias (viagem, coleta local e extras);
- ◆ Política de gerenciamento da frota (observância dos horários de saída) x confiabilidade do sistema;
- ◆ Política de gerenciamento da frota (observância dos horários de saída) x número de carretas necessárias (viagem, coleta local e extras);

Ao final dessas análises, a empresa disporia de um conjunto de informações e de uma ferramenta de análise para tomada de decisão sobre as seguintes questões:

- ◆ Com base num grau de confiabilidade preestabelecido para as operações de frota (e.g. probabilidade de que 95% das linhas sairão no horário¹), determinação do número de veículos extras necessários;

¹ todas as linhas inter-filiais possuem horários de saída e de chegada pré-estabelecidos, como em linhas de ônibus e vôos domésticos. O cumprimento desses horários é fundamental para que se tenha a quantidade de veículos a tempo para serem realocados na outra ponta da rede.

- ◆ Avaliação do impacto de oscilações bruscas no nível de demanda sobre a confiabilidade das operações;
- ◆ Determinação do aumento de oferta de carretas e de confiabilidade decorrentes da agilização do processamento de mercadorias (*e.g.* decorrente de um aumento do percentual de carga unitizada e ou roteirizada).

Ferramenta utilizada - Justificativa

Para fins de análise e modelagem do problema, pode-se enumerar três classes distintas de variáveis, todas ligadas à atividade transbordo, a saber:

1. Duração das atividades de carga e descarga;
2. Tempos de espera das carretas, aguardando (2.1.) espaço na plataforma ou (2.2.) equipes disponíveis para descarga e manipulação das cargas;
3. Variabilidade dos tempos de (3.1.) chegada das carretas e de (3.2.) descarga;

Como pode-se perceber estas três classes de variáveis englobam as características básicas de problemas que envolvem dimensionamento de capacidade com base numa demanda variável. Tradicionalmente, a literatura apresenta duas formas de abordagem desse tipo de problema: Teoria de Filas ou Simulação Computacional.

Em função da sua complexidade e do fato que o sistema em questão não entra na fase de regime (pré-requisito para aplicação de teoria das filas) não é possível aplicar teoria de filas. Portanto a técnica utilizada para analisar o sistema foi simulação computacional.

Método de trabalho

Considerando que a ferramenta de análise a ser utilizada será a simulação computacional e que o modelo de análise das operações do terminal será incorporado nesta, estruturou-se o método de trabalho em 7 etapas:

1. formulação do problema;
2. montagem de um modelo conceitual simplificado;
3. determinação dos dados necessários para a análise e os responsáveis pela coleta;

4. coleta, análise e validação dos dados;
5. modelagem computacional a partir do modelo conceitual e validação do modelo;
6. criação dos cenários a serem investigados via simulação;
7. execução da simulação para resultados;

4.6.1. Montagem de um modelo conceitual simplificado

Toda a modelagem de um problema é uma simplificação da realidade. Portanto, deve-se atentar para que as simplificações feitas não comprometam o objeto de análise do problema. O sistema a ser investigado pode ser representado pela figura 4.10, a seguir:

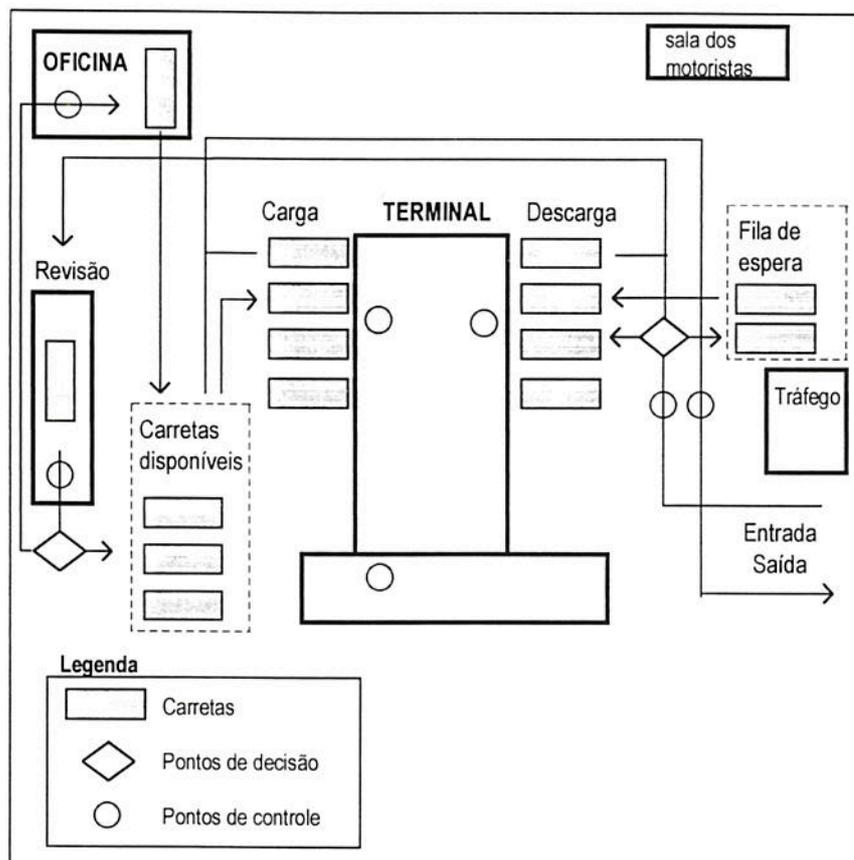


Figura 4.10. - Fluxograma geral de operação das carretas

O fluxo das carretas neste sistema compreende os seguintes eventos:

Evento	Condição
◆ Chegada de carretas;	<i>segundo distribuição dos horários de chegada;</i>
◆ Passagem das carretas pelo setor de tráfego;	
◆ Estaciona no setor de descarga;	<i>existência de box livre;</i>
◆ Descarrega mercadorias;	<i>existência de equipe livre;</i>
◆ Retirada da carreta do setor de descarga;	
◆ Revisão da carreta;	
◆ Conserto na oficina;	<i>problema com a carreta;</i>
◆ Lavagem;	<i>haver pelo menos uma carreta no pátio;</i>
◆ Disponível no pátio;	<i>necessidade de carretas de linha e para coleta supridas;</i>
◆ Alocação para coleta local, coleta parcial, coleta direta ao carregamento;	<i>solicitação de cliente ou horário de carregamento observado;</i>
◆ Saída do sistema;	<i>horário de saída observado;</i>

Quadro 4.3. - Quadro resumo: eventos do sistema e condições para ocorrência dos mesmos.

Premissas do modelo

- ◆ Não há diferença entre as carretas de viagens para fins de alocação do destino. Portanto, a primeira carreta que estiver disponível poderá ser alocada aos destinos que necessitem iniciar o carregamento mais cedo;
- ◆ O tempo de carregamento de uma carga mista (parcialmente em gaiolas e parcialmente solta) pode ser estimado através da média dos tempos de uma carga unitizada e uma carga carregada manualmente. Estes tempos são obtidos pelas funções estimadas, as quais valem-se de distribuições de probabilidade para os pesos, variedades e volumes dos itens;
- ◆ O intervalo de tempo exigido para o carregamento de uma determinada carreta pode ser preestabelecido de acordo com a política de operação de carga adotada (*e.g.* unitização ou não para determinado destino).

Dados necessários para a análise

Os dados que serão utilizados para analisar a confiabilidade e o nível de oferta disponível são os seguintes:

- ◆ Número de linhas regulares de carretas e trucks que chegam na filial Porto Alegre;
- ◆ Número de carretas extras alocadas na filial Porto Alegre;
- ◆ Distribuição de probabilidade do número de volumes descarregados por carretas e por veículos trucks;
- ◆ Distribuição de probabilidade dos tempos de carregamento, paradas (tráfego, retirada da carreta, lavagem) e checagem das carretas (revisão);
- ◆ Distribuição de probabilidade dos tempos de descarga e processamento de cargas com diversos índices de unitização e roteirização;
- ◆ Mapa de horário de entrada e saída das equipes nos setores de recepção e carregamento;
- ◆ Capacidade de estacionamento da plataforma do terminal;
- ◆ Horários previstos de saída;
- ◆ Horários previstos e realizados de chegada;
- ◆ Número médio de carretas utilizadas para coletas local, parcial e direta;
- ◆ Percentual de carretas que após a revisão são alocadas para a manutenção e distribuição do tempo de oficina.

4.6.2. Modelagem computacional

Para construção de um modelo computacional é conveniente que seja construído um fluxograma lógico que represente o modelo conceitual criado. Nesse fluxograma devem aparecer além dos eventos, os seus encadeamentos e todas as possíveis alternativas de fluxo das carretas. A figura 4.11 apresenta o fluxograma lógico que orientou a construção do modelo computacional:

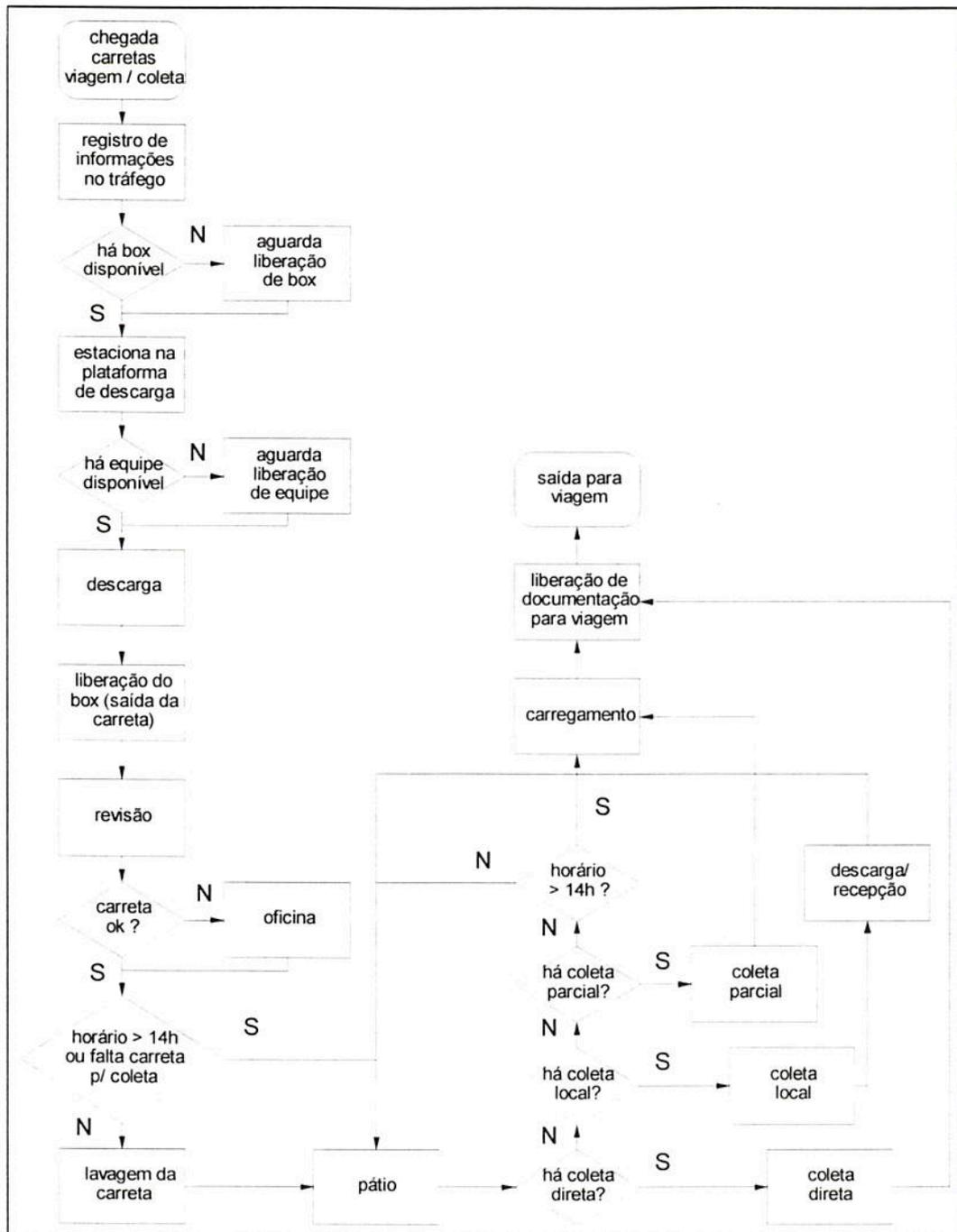


Figura 4.11. - Fluxograma lógico da operação das carretas na filial Porto Alegre

Na construção do modelo computacional, foi utilizado o software MicroSaint. A escolha deste simulador foi função dos seguintes fatores: flexibilidade para modelagem, disponibilidade, facilidade para transposição do modelo conceitual e possibilidade de incorporação uma interface gráfica para facilitar a compreensão do modelo computacional. A listagem do modelo e a definição das variáveis utilizadas se encontram no anexo. A figura 4.12 apresenta o modelo:

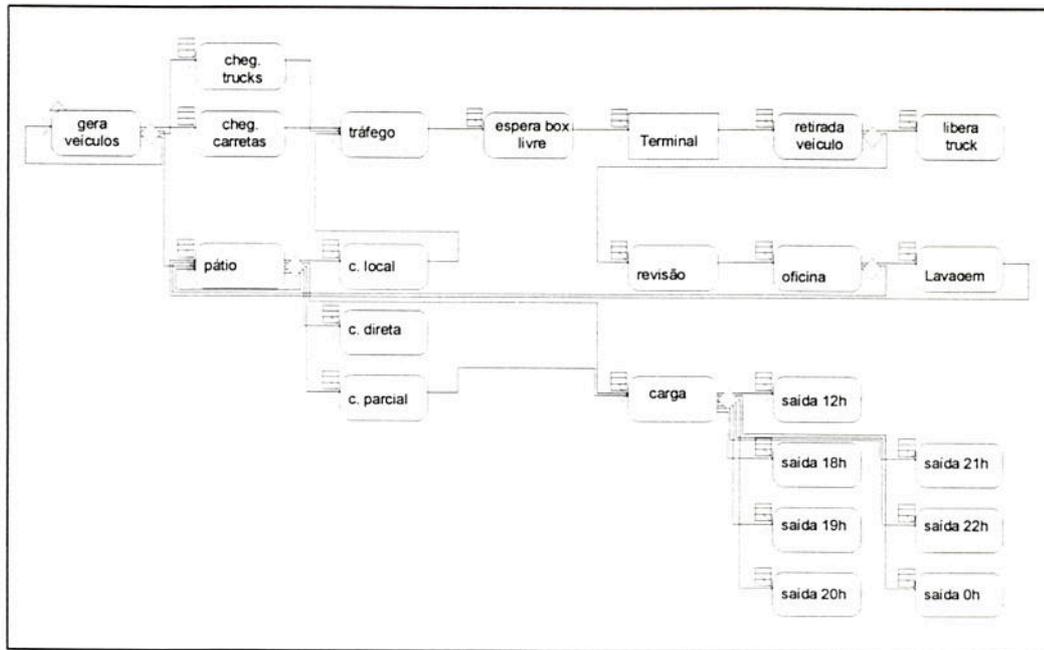


Figura 4.12 - representação do modelo de simulação.

Variáveis de resposta do modelo

As variáveis de resposta do modelo de simulação são as seguintes:

- ◆ Tempo médio de processamento das cargas no setor de recepção;
- ◆ Tempo médio de fila das carretas aguardando processamento das cargas;
- ◆ Confiabilidade do sistema (medida em % de carretas que saem com atraso);
- ◆ Oferta de carretas no pátio ao longo do dia (em unidades);

A confrontação dos resultados obtidos para essas variáveis de resposta nos diversos cenários criados permitirá avaliar o impacto das políticas propostas no início deste estudo.

4.6.3. Validação do modelo

Cálculo do intervalo de confiança

O primeiro passo para validar o modelo de simulação é determinar o número mínimo de replicações. Para realizar essa determinação foi escolhida a variável aleatória que estabelece o número de veículos tipo carreta que chegam a cada dia na unidade da empresa.

A razão para a escolha desta variável residiu no fato dela estar localizada no início do modelo e definir o volume de oferta que passa em cada dia de simulação no sistema.

A técnica utilizada para determinação do número mínimo de replicações é a apresentada por LAW & KELTON (1991). Com base no conceito de intervalo de confiança pode-se estabelecer o número mínimo de replicações necessárias para que o estimador $X(n)$ não possua um erro relativo superior a γ em relação à média μ com uma probabilidade de $(1 - \alpha)\%$. Os passos utilizados para o cálculo do número mínimo de replicações e as expressões utilizadas foram os seguintes:

1. realizar n_0 replicações (com $n_0 \geq 2$) e adotar $n = n_0$;
2. Calcular a média - $X(n)$ - e o semi-comprimento do IC - $\delta(n,\alpha)$;
3. Se $\delta(n,\alpha) / |X(n)| \leq \gamma^*$ usar $X(n)$ como ponto de partida para estimar μ , caso contrário, fazer $n = n + 1$ e voltar para o passo 2.

onde:	γ	[erro relativo estabelecido - $0 < \gamma < 1$];
	n	[número de replicações];
	α	[índice de significância];
	$\gamma^* = \gamma/(1+\gamma)$	[erro relativo ajustado];
	$X(n)$	[média da amostra de dados obtidos pela simulação];
	$\delta(n,\alpha)$	[semi-comprimento do intervalo de confiança];

A partir de um índice de significância (α) igual a 0,05 e do estabelecimento de um erro relativo (γ) para a variável aleatória 'chegada de carretas' igual a 0,05 obteve-se um número mínimo de replicações para o modelo igual a 32.

Para o cálculo do intervalo de confiança - IC - foi utilizada a fórmula 6. Os limites calculados a partir de 32 replicações do modelo foram os seguintes:

$$IC = [14,63 ; 16,15] \quad \text{ou} \quad 14,63 < \mu < 16,15 \text{ com } 95\% \text{ de probabilidade.}$$

$$IC = \bar{X}(n) \pm t_{n-1; 1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{S^2(n)}{n}} \quad (6)$$

Em seguida foram realizados testes com a intenção de verificar se o modelo era ou não representativo do sistema real a ser investigado. A estratégia para esta verificação consistiu basicamente em comparar o comportamento das seguintes variáveis:

1. Distribuição dos tempos de processamento das cargas;
2. Distribuição dos tempos de espera por atendimento dos veículos no setor de recepção.

Ambos os parâmetros foram alvo de uma extensa coleta de dados, a qual serviu como base comparativa para os resultados simulados. Foi considerada a possibilidade de utilização da variável que representava os horários de saída dos veículos no processo de validação do modelo. Entretanto, os dados simulados não puderam ser comparados com os observados por que os horários de saída reais estavam sofrendo atrasos em função de esperas por cargas de clientes. Os gráficos 4.10 e 4.11 apresentam as comparações entre os dados observados e os simulados para os parâmetros tempo de processamento e tempo de espera por atendimento. Ambos os gráficos mostram que o modelo reproduz o comportamento do sistema real com boa fidelidade:

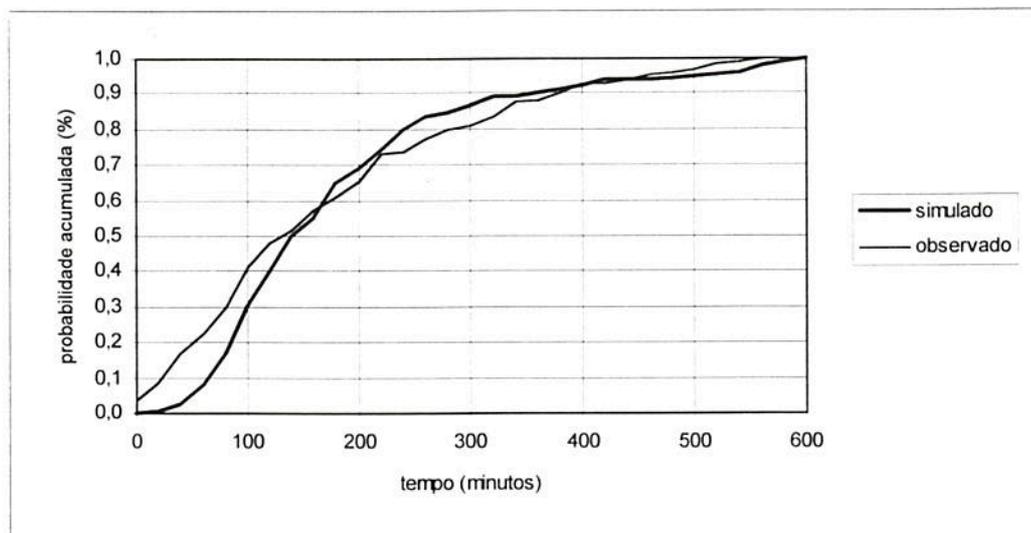


Gráfico 4.10. - comparação entre os dados observados e simulados para o tempo de processamento.

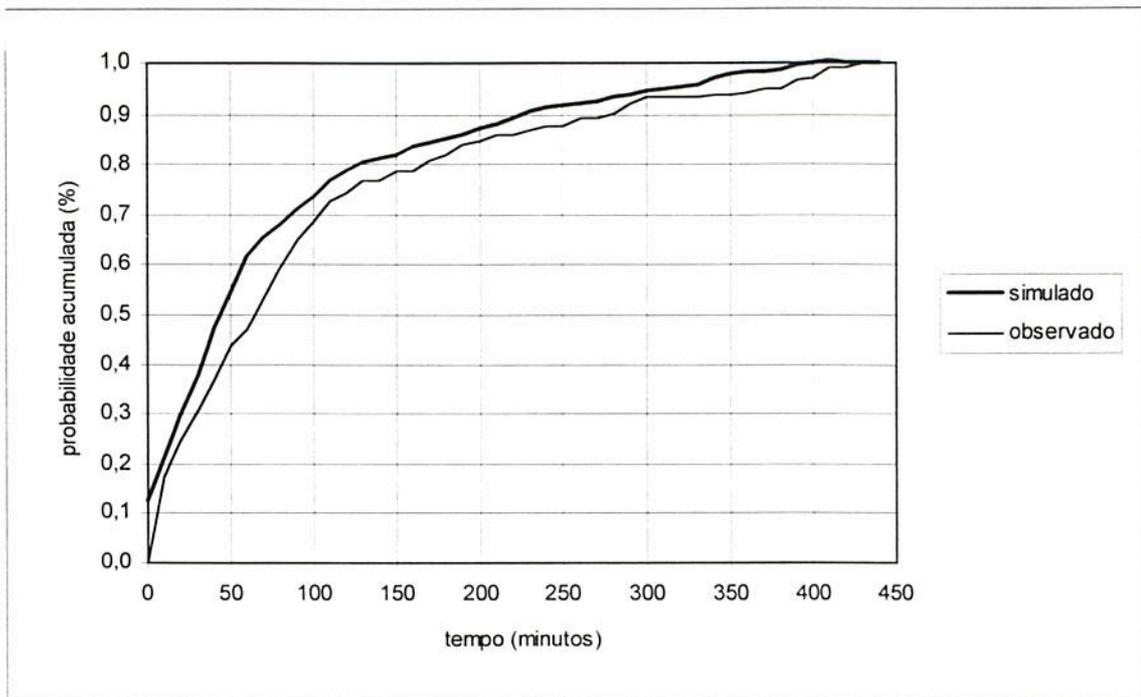


Gráfico 4.11. - comparação entre os dados observados e simulados para o tempo de espera dos veículos.

O quadro 4.4 resume os parâmetros das distribuições de freqüência acumuladas dos dados observados e dos dados simulados:

Variável de resposta	Observado			Simulado		
	média	desvio	n	média	desvio	n
tempo de processamento [min.]	195	137	616	183	110	2988
tempo de espera por atendimento [min.]	72	101	451	76	99	1343

Quadro 4.4 - parâmetros das distribuições de freqüência acumuladas dos dados observados e simulados.

4.6.4. Cenários analisados

Foram criados 4 cenários para análise da confiabilidade do sistema e da oferta de carretas. Destes, três cenários contemplaram o efeito do aumento do percentual de carga unitizada sendo processada pelo setor de recepção e um cenário contemplou o efeito das chegadas das carretas ocorrerem com no máximo 30 minutos de atraso, o que foi

considerado dentro do horário esperado. O quadro 4.5. resume as condições destes cenários:

cenários	% de carga unitizada	% de carga roteirizada	horário de chegada
I	11	0	com atraso
II	50	0	com atraso
III	50	25	com atraso
IV	11	0	na hora

Quadro 4.5 - Cenários criados para análise da confiabilidade dos horários de saída das carretas

4.6.5. Execução das simulações para obtenção dos resultados

A execução das simulações para obtenção de resultados permitiu a construção de uma estrutura para análise de políticas operacionais da empresa que mostram o efeito de cada uma dessas sobre o aumento da oferta de carretas e da confiabilidade do sistema. Os resultados apresentados foram obtidos através das simulações dos cenários propostos.

A confiabilidade do sistema foi estimada a partir da avaliação do percentual de carretas que saem com atraso (acima de 30' do horário estipulado para a rota).

Tempo de processamento e Tempo de fila das carretas na recepção

A simulação dos cenários I, II e III permitiu a avaliação do efeito de uma política de unitização mais intensa. Os resultados obtidos podem ser atribuídos a dois fatores:

1. redução dos tempos de processamento das cargas dentro do terminal, o que resultou numa liberação mais rápida dos veículos e das equipes;
2. redução dos tempos mortos dos veículos na área de recepção, visto que estes são função da oferta de equipes e da sua capacidade. Uma vez que a capacidade de processamento foi aumentada, os veículos ficaram menos tempo aguardando pelas equipes.

Os gráficos 4.12 e 4.13 apresentam os tempos de processamento e de espera por processamento dos veículos para as seguintes situações:

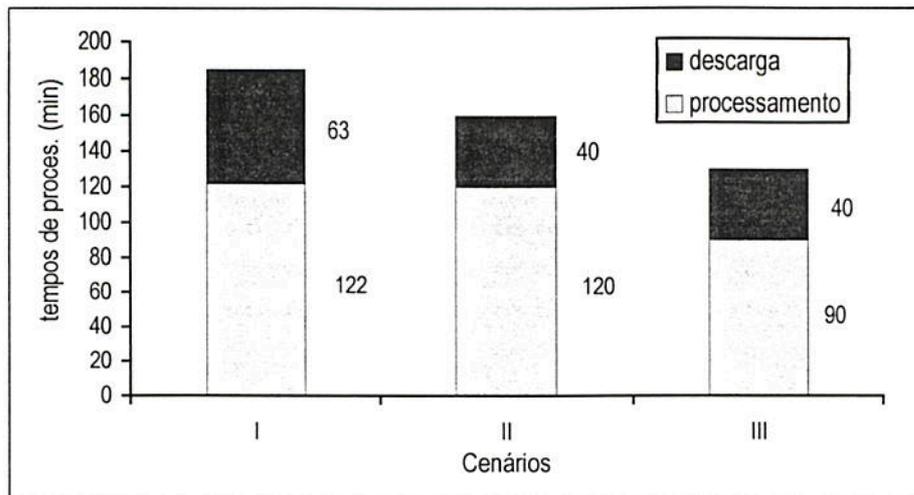


Gráfico 4.12 - Redução dos tempos de processamento decorrentes da unitização e roteirização da carga

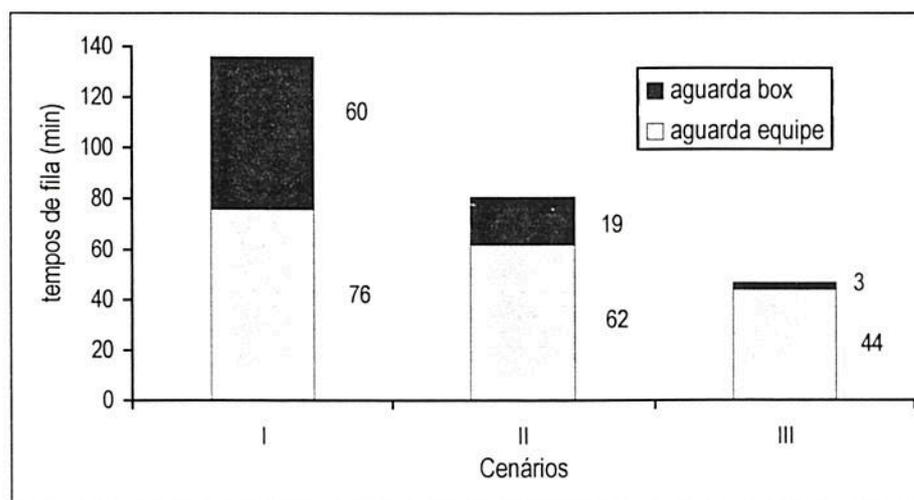


Gráfico 4.13 - Redução dos tempos de fila decorrentes da aceleração do processamento das cargas

Como é possível observar pelo gráfico 4.12, a redução no tempo de processamento total da carga foi decorrência da redução dos tempos das operações descarga (da situação 1 para a 2) e das operações de processamento (da situação 2 para a 3).

A razão para não ter ocorrido redução no tempo das operações de processamento entre o cenário 1 e o 2 reside no fato de que um simples aumento do percentual de carga unitizada não evita o manuseio dos volumes unitários dentro do terminal. Ou seja, a simples unitização da carga traz apenas como benefício a redução da operação descarga.

Quando parte da carga passa a ser roteirizada, o tempo da operação descarga não se altera mas o tempo de processamento da carga reduz significativamente. É por esta razão que do cenário 2 para o 3, a redução do tempo médio total de processamento é decorrente exclusivamente da redução do tempo médio das operações de processamento das carga no terminal. É possível também observar pelo gráfico 4.13, o tempo de fila das carretas sofre uma significativa redução na medida em que os tempos de processamento vão sendo reduzidos.

A redução percentual média obtida entre os cenários 1 e 3 é de 30% para o tempo de processamento das cargas. A redução percentual média entre essas mesmas situações para o tempo de fila das carretas é de 65%.

Oferta de carretas ao longo do dia

Para a análise da oferta de carretas ao longo do dia, os cenários simulados contemplaram, além das 3 situações acima, chegada das carretas com atraso (considerada a situação vigente) e chegada das carretas dentro dos horários esperados. Na simulação da chegada das carretas dentro do horário foi considerado que um atraso de até 30 minutos poderia ser considerado dentro do horário esperado. O quadro 4.6 apresenta a oferta média de carretas para os 4 cenários propostos

cenário	I	II	III	IV
% carga unitizada	11	50	50	11
% carga roteirizada	0	0	25	0
horário	atrasado	atrasado	atrasado	ok
oferta de carretas	6,7	7,4	8,2	9,4

Quadro 4.6 - oferta média de carretas para o cenários propostos.

Confiabilidade do sistema

A medida de confiabilidade do sistema pode ser feita com base no percentual de carretas que saem com um determinado atraso. Para os resultados apresentado a seguir, foram calculados índices de confiabilidade para atrasos superiores a 5 minutos.

O gráfico 4.14 apresenta os índices de confiabilidade obtidos para os 4 cenários propostos, para diversos tamanhos de folga de carretas no pátio da filial.

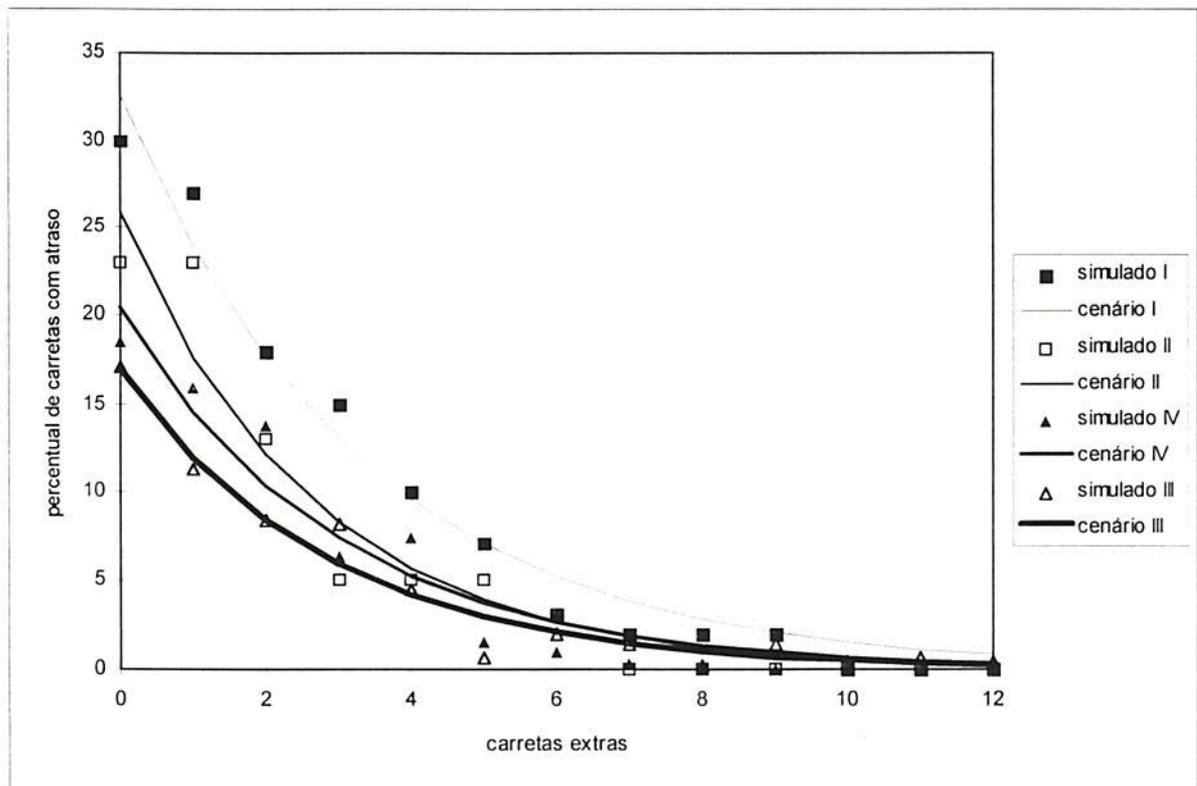


Gráfico 4.14 - Percentual de carretas que podem sair com atraso x nº de carretas extras

cenários	I	II	III	IV
% carga unitizada	11	50	50	11
% carga roteirizada	0	0	25	0
horário	atrasado	atrasado	atrasado	ok
funções	$Y = 32,6 \cdot e^{-0,31 \cdot X}$	$Y = 25,8 \cdot e^{-0,38 \cdot X}$	$Y = 17,0 \cdot e^{-0,35 \cdot X}$	$Y = 20,5 \cdot e^{-0,34 \cdot X}$
coeficiente r^2	0,91	0,88	0,96	0,84

Quadro 4.7 - coeficientes de explicação r^2 das funções de confiabilidade estimadas para o modelo.

4.6.6. Considerações finais

A aceleração do processo de liberação das carretas aumentou a confiabilidade do sistema. Para a obtenção de uma confiabilidade de 95% do cumprimento dos horários de saída seriam necessárias quase 6 carretas extras para o cenário I (situação vigente) e apenas 4 carretas extras para o cenário II, por exemplo.

Isto significa que a empresa pode ter sua capacidade dimensionada de modo a atender um determinado nível de confiabilidade. Quando as variabilidades no processo são reduzidas, como é no caso de se implementar uma política de unitização de carga mais intensa, este ganho ocorre sem que haja a necessidade de aquisição de mais veículos.

Além disso, deve-se levar em conta que a operação nos terminais de transbordo e armazenagem caracterizam-se como restrições para a modelagem do problema macro-logístico. Por essa razão, esforços para redução dos tempos de parada dos veículos e do processamento de cargas devem preceder a análise da rede de transportes.

O terceiro e último nível do modelo busca determinar o número ótimo de terminais para o atendimento de uma região composta por diversos pontos de demanda. Na apresentação deste último nível pretende-se investigar o efeito da redução do tempo de parada dos veículos e da unitização de cargas sobre o número de terminais e sobre o custo unitário dos itens transportados.

4.7. Terceiro nível do modelo: Análise da rede de distribuição

Uma rede de coleta e distribuição com alcance nacional normalmente tem uma estrutura hierarquizada, como já foi descrito no início deste capítulo. Questões como localização dos terminais, alocação de rotas (diretas, com consolidação ou roteirizadas) e escolha do tipo de veículo mais adequado para a operação devem ser integradas de modo que se obtenha a máxima eficiência no gerenciamento da rede.

O terceiro nível de análise apresenta um modelo para determinação do número ótimo de terminais. Este modelo pode ser classificado entre os modelos de aproximação contínua ou modelos macroscópicos e foi originalmente desenvolvido por Bernardo de Castilho com base no trabalho pioneiro de Newell (1968, 1971, 1973), Daganzo (1985, 1987, 1991) e Blumenfeld (1985, 1987).

Segundo Daganzo (1991) os modelos macroscópicos usam dados resumidos e de fácil obtenção, que permitem ao analista entender os *trade-offs* do sistema e identificar soluções ótimas aproximadas. Esses modelos simplificados se valem da robustez do modelo do lote econômico e são especialmente adequados na tomada de decisões estratégicas, onde os dados disponíveis são baseados em estimativas e também são aproximações.

A soluções iniciais obtidas com os modelos macroscópicos podem ser refinadas com modelos mais detalhados, como o apresentado por Novaes e Rosseto (1991) para determinação da localização de M terminais em uma rede de distribuição com N pontos.

4.7.1. Apresentação do modelo macroscópico

O modelo macroscópico para determinação do número ótimo de terminais baseia-se no *trade-off* entre os custos de transporte (coleta, entrega local e viagem) e os custos de terminal (capital imobilizado, custos de estoque, etc.) e na configuração hierárquica da rede logística de uma empresa de transporte de carga. O modelo aplica este *trade-off* em dois níveis da rede: intra-regional (rede de coleta e entrega local) e inter-regional (rede de transporte entre as filiais da empresa) que é delimitado pela área de influência dos M terminais.

A relação entre os dois níveis do modelo ocorre em função do número de terminais existentes (figura 4.13). A medida em que se altera o número de terminais de consolidação, altera-se também o tamanho das regiões de entrega. Tanto para coleta e entrega local como para viagem entre terminais o modelo determina os custos logísticos unitários dos itens com base na frequência ótima (calculada pelo modelo do lote econômico) de despacho de veículos.

O *trade-off* que se estabelece relaciona os custos de terminais *versus* os custos de transporte relativos as linhas de puxada até as rotas de coleta e entrega locais. Quanto menor for o número de terminais, maiores são as distâncias das linhas de puxada e menores são os pontos de transbordo da rede.

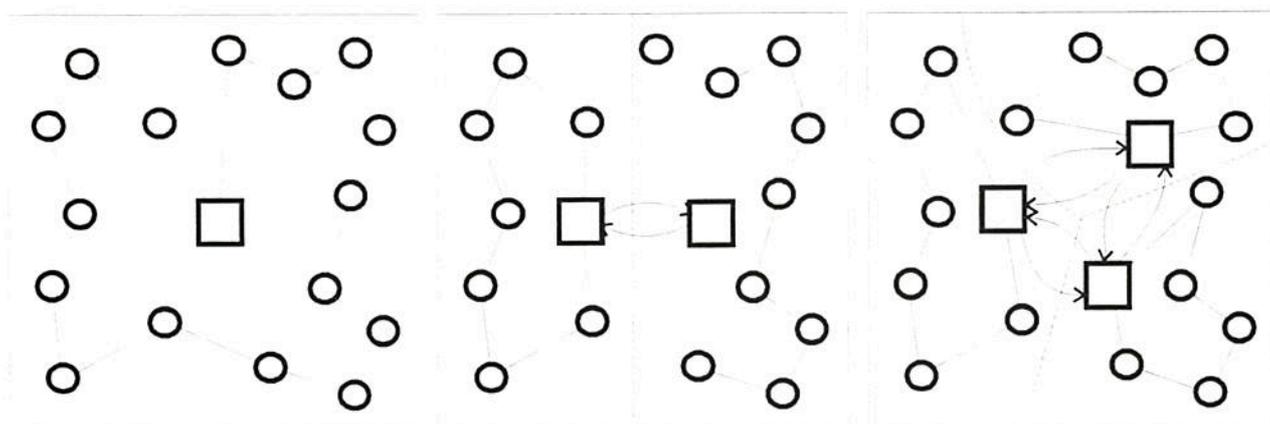


Figura 4.13 - representação gráfica do modelo para determinação do número ótimo de terminais

O modelo permite utilizar parâmetros diferenciados para a operação de coleta e entrega locais e para a operação de transporte entre os terminais. No caso do transporte entre terminais, a opção por veículos de maior capacidade (*e.g.* carretas) traz a vantagem de menores custos unitários que o transporte realizado por veículos de menor capacidade.

Por outro lado, veículos de menor capacidade de carga são vantajosos para operação em regiões com baixas demandas, não só pelos custos operacionais como pelas restrições de tráfego normalmente existentes.

A construção do modelo macroscópico utiliza como ponto de partida a seguinte equação de custos logísticos:

$$Cd = \frac{kf + kvd * Ld + ks * Sd}{Vd} + ki * Hd + ki * \left(\frac{Ld}{veld} + tsd * Sd \right) \quad (7)$$

onde:

- Cd - custo logístico unitário [\$/item]
- kf - custo fixo de despacho do veículo [\$/despacho];
- kvd - custo por quilômetro rodado dos veículos de coleta [\$/km];
- Ld - distância total percorrida no roteiro de viagem [km];
- ksd - custo por parada do veículo de coleta e entrega [\$/parada];
- Sd - número de paradas dentro do roteiro coleta e entrega [parada];
- ki - custo de estocagem por unidade [\$/item/tempo];
- Hd - intervalo entre duas visitas consecutivas - *headway* [tempo];
- veld - velocidade média do veículo de coleta e entrega [km/tempo];
- tsd - tempo de parada do veículo [tempo];
- d - demanda por ponto atendido no roteiro [itens/tempo];
- Vd - capacidade de carga do veículo de coleta e entrega [itens];

A primeira parcela da equação (7) representa o custo de transporte unitário. Este custo de transporte é calculado a partir do custo de despacho da carga (kf), do custo por quilômetros (kvd) vezes a distância percorrida no roteiro de entrega (Ld), no custo por parada do veículo (ksd) vezes o número de paradas do roteiro (Sd), dividido pela capacidade do veículo (Vd). A segunda parcela da equação (7) representa o custo de estoque e de capital nos pontos de demanda. O custo de estoque é calculado partir de um custo unitário por unidade de tempo (ki) vezes o intervalo entre duas visitas consecutivas (*headway*) a um determinado ponto.

O *headway* pode ser calculado dividindo-se a capacidade do veículo V_d pela demanda total do roteiro coleta e entrega ($S_d \cdot d$). A terceira parcela da equação (7) representa o custo de inventário em trânsito. Este custo é calculado através da soma do tempo em trânsito (L_d/v_{eld}) com o tempo de parada do veículo vezes o custo de capital (k_i) dividido por 2.

Considerando que o custo do inventário em trânsito é desprezível frente ao valor das duas primeiras parcelas, pode-se excluí-lo e escrever a equação do custo logístico da seguinte forma:

$$C_d = \frac{k_f + k_{vd} \cdot L_d + k_{sd} \cdot S_d}{V_d} + k_i \cdot H_d \quad (8)$$

Para resolver esta equação é necessário calcular inicialmente o percurso feito pelo veículo na sua rota de coleta e entrega (L_d) e o número de parada por circuito (S_d). Para o cálculo de L_d , foi utilizada a seguinte equação:

$$L_d = 2 \cdot R_d + (S_d - 1) \cdot k_{dtd} \quad (9)$$

onde: R_d - linha de puxada entre terminal e a região de atendimento [km];

k_{dtd} - distância entre dois pontos consecutivos na rota [km];

A distância percorrida entre dois pontos de coleta e entrega local (k_{dtd}) é estimado com base na aproximação da menor distância euclidiana para percorrer N pontos distribuídos aleatoriamente em uma região de área A a partir de um depósito localizado no centro da região.

A fórmula da distância mínima para percorrer n pontos distribuídos numa região de área A pode ser entendida a partir dos elementos contidos na figura 4.14.

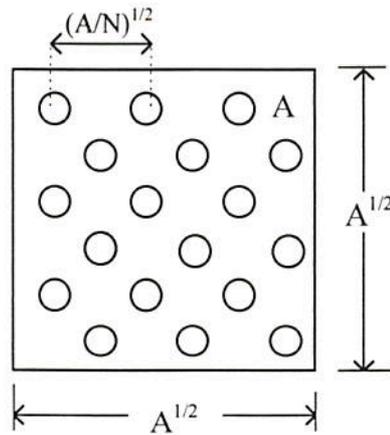


Figura 4.14 - elementos para dedução da fórmula do menor percurso para o atendimento de n pontos em uma região de área A

Considerando um quadrado de área A que contenha N pontos distribuídos aleatoriamente em sua superfície, pode-se identificar os seguintes elementos:

- ◆ lado do quadrado: $l = A^{1/2}$
- ◆ número de pontos distribuídos por unidade de comprimento: $N^{1/2}$

A distância entre dois pontos adjacentes pode ser expressa pela função (10), sobre a qual é ainda acrescida de uma constante k, que representa o efeito do agrupamento de pontos dentro da região:

$$kdtd = k * (A/N)^{1/2} \quad (10)$$

O valor de k foi determinado por Eilon (citado por Burns *et. al.* - 1985) a partir de resultados experimentais e confirmado por outros autores como Novaes (1993) para áreas da Cidade de São Paulo. O valor da constante k depende da métrica da rede e varia entre 0,6 e 0,8. Para regiões com n maior que 2 ou 3, k é aproximadamente 0,6.

Para o cálculo do percurso total de uma rota é necessário ainda calcular as distâncias correspondentes às linhas de puxada para cobertura da rota (Rd). O valor de Rd (figura

4.15) pode ser estimado como a distância média entre dois pontos quaisquer contidos em um quadrado. Este valor é aproximadamente de 1/2 do lado do quadrado.

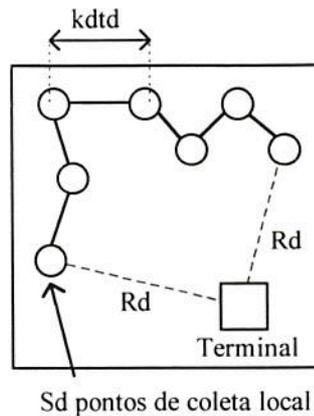


Figura 4.15 - representação gráfica dos componentes de uma rota de coleta e entrega

Assumindo que o lado do quadrado é equivalente a raiz da sua área, a função para estimação de R_d é a seguinte:

$$R_d = 1/2 * (A)^{1/2} \quad (11)$$

O número de paradas por circuito (S_d) pode-se ser calculado derivando-se a função (8) com relação a S e igualando o resultado a zero. Tem-se assim o número de paradas ótimo por circuito ($S_{d_{opt}}$). Para o cálculo do número ótimo de paradas a função utilizada leva em conta apenas os custos de coleta e distribuição local, visto que o custo de despacho (k_f) e o custo da linha de puxada (R_d) não afetam o número ótimo de paradas por rota (Burns *et. al.* - 1985). A expressão de $S_{d_{opt}}$ tem o seguinte formato:

$$S_{d_{opt}} = V_d * ((k_i / (d * (k_v * k_{dtd} + k_{sd})))^{1/2} \quad (12)$$

Como pode-se perceber, o número ótimo de paradas é diretamente proporcional à capacidade do veículo.

Como a função (12) pode apresentar resultados não inteiros, o número de paradas da rota ($S_{d_{opt}}$) a ser utilizado nas funções subseqüentes deve contemplar apenas valores inteiros. Portanto, foi empregada uma função auxiliar (12.b) para garantir esta exigência:

$$S_d = \text{Max} \left[\text{Inteiro}(S_{d_{opt}} + 0,5) ; 1 \right] \quad (12.b)$$

Calculados L_d e $S_{d_{opt}}$ pode-se então, determinar o custo unitário de distribuição numa região. Este custo unitário para uma carga coletada e entregue dentro de uma região é igual a duas vezes o custo total (C_d) dado pela função 8.

Isto porque dentro de uma mesma região o tempo e os deslocamentos para coleta e entrega são, em média, iguais (figura 4.16).

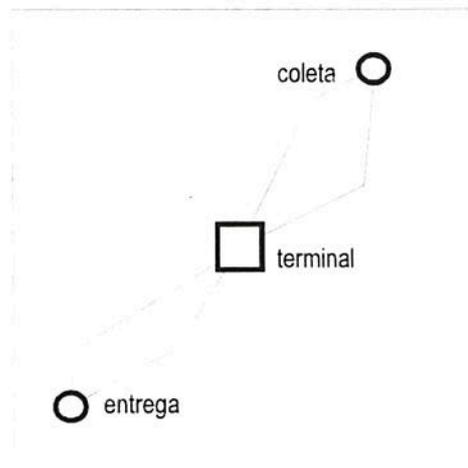


Figura 4.16 - coleta e entrega dentro de uma mesma região

Sendo assim, o custo logístico intra-regional para um item pode ser expresso pela seguinte função:

$$C_{intra} = 2 * C_d \quad (13)$$

Considerando que o fluxo de demanda entre os N pontos espalhados nas M regiões são uniformemente distribuídos, o fluxo de carga intra-regional representa 1/M da demanda $d \cdot N$ total.

Para determinação do custo logístico dos $(1 - 1/M)$ itens que são transportados entre as regiões as funções são análogas às anteriormente deduzidas, mas com as seguintes diferenças: A densidade de pontos passa a ser M/A ao invés de N/A e ao invés de se utilizar a demanda de cada ponto N é utilizada a demanda que uma região transfere para outra (d'). Esta demanda pode ser expressa pela seguinte função:

$$d' = \frac{d \cdot N}{M} * \left(1 - \frac{1}{M}\right) \quad (14)$$

O custo logístico inter-regional é formado pela parcela do custo de coleta e entrega acrescida da parcela do custo de transporte entre os terminais. Da mesma forma que para o cálculo do custo intra-regional foram estimados os valores de k_{dtd} (distância entre dois pontos consecutivos da rota) e R_d (linha de puxada) para o nível inter-regional são calculados os valores de k_{dtt} e R_t . A fórmula de k_{dtt} é análoga a de k_{dtd} apenas com a diferença de que o número de pontos N de demanda é substituído pelo número de pontos M de demanda consolidada.

$$k_{dtt} = k * (A/M)^{1/2} \quad (15)$$

Esta fórmula expressa a distância entre dois terminais de consolidação atendidos seqüencialmente. O valor de R_t (linha de puxada até o circuito dos terminais) é aproximadamente 2 vezes o valor da linha de puxada R_d para roteiros locais. Sendo assim, tem-se que a seguinte expressão para R_t :

$$R_t = 2 * R_d \quad (16)$$

A distância total do circuito intra-regional torna-se então:

$$L_t = 2 \cdot R_t + (S_t - 1) \cdot k_{dtt} \quad (17)$$

O valor de S_t ao invés de ser cálculo da parcela do custo de transporte inter-regional pode ser expresso pela seguinte expressão:

$$S_{t_{opt}} = V_t \cdot \left(\frac{k_i}{d' \cdot (k_{vt} \cdot k_{dtt} + k_{st})} \right)^{1/2} \quad (18)$$

onde: V_t - capacidade dos veículos em unidades [itens];

k_{vt} - custo por quilômetro rodado dos veículos de coleta [\$/km];

k_{st} - custo por despacho do veículo de viagem [\$/despacho];

Da mesma forma, esta função (18) pode apresentar resultados não inteiros para o número de paradas ótima por rota ($S_{t_{opt}}$). Como é necessário que este valor seja um número inteiro, foi empregada uma função auxiliar (18.b) para garantir esta exigência:

$$S_t = \text{Max} \left[\text{Inteiro}(S_{t_{opt}} + 0,5) ; 1 \right] \quad (18.b)$$

Calculados L_t e $S_{t_{opt}}$ pode-se determinar o custo unitário de transporte inter-regional. Este custo unitário para uma carga transferida (C_t) é expresso pela seguinte função:

$$C_t = \frac{k_f + k_{vt} \cdot L_t + k_{st} \cdot S_t}{V_t} + k_i \cdot H_t \quad (19)$$

onde: H_t - intervalo entre duas viagens - *headway* [tempo];

Da mesma forma que o *headway* do nível intra-regional (H_d) havia sido calculado em função da capacidade do veículo (V_d) e da demanda total do roteiro de coleta e entrega (S_d*d), o valor do *headway* para o nível inter-regional (H_t) é calculado dividindo-se a capacidade V_t dos veículos de viagem pela demanda total da rota de viagem (S_t*d'). O custo logístico inter-regional (C_{inter}) é formado pela soma do custo de transferência (C_t) com o custo de coleta e entrega ($2*C_d$). A função (20) que representa este custo pode ser entendida a partir a figura 4.17:

$$C_{inter} = 2*C_d + C_t \quad (20)$$

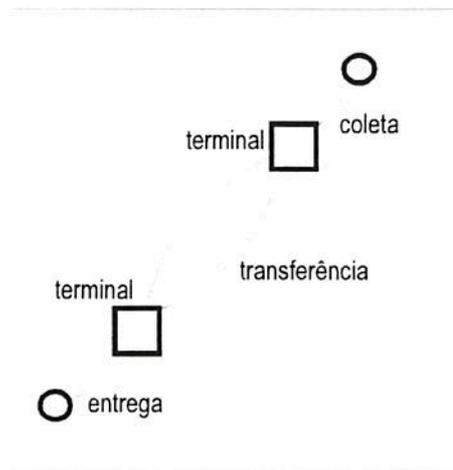


Figura 4.17 - representação gráfica do modelo para determinação do número ótimo de terminais

Para o cálculo do custo logístico unitário médio da rede logística deve-se considerar que $1/M$ da carga é coletada e entregue dentro de uma mesma região e $(1 - 1/M)$ é coletada numa região e entregue em outra região.

Além disso, deve-se acrescentar o custo fixo dos M terminais que funcionarão como consolidadores de carga. A função (21) representa este custo logístico unitário médio:

$$C_{global} = C_{intra} * \frac{1}{M} + C_{inter} * (1 - 1/M) + \frac{C_{term} * M}{N*d} \quad (21)$$

Como o custo inter-regional é formado por uma parcela intra-regional, pode-se reescrever a equação da seguinte forma:

$$C_{global} = C_{intra} * \frac{1}{M} + C_{intra} * (1-1/M) + Ct * (1-1/M) + \frac{C_{term} * M}{N*d} \quad (22)$$

É possível ainda fazer um agrupamento das duas primeiras parcelas, o que permite escrever esta equação da seguinte forma:

$$C_{global} = C_{intra} + Ct * (1 - 1/M) + \frac{C_{term} * M}{N*d} \quad (23)$$

4.7.2. Aplicação do modelo

A aplicação feita do modelo partiu de alguns dados reais da empresa como área de abrangência, número de pontos de demanda e alguns coeficientes de custos operacionais. Todavia, alguns dos valores utilizados não são dados reais da empresa. Para estes casos buscou-se utilizar valores que tivessem uma ordem de grandeza próxima aos dados reais para alimentar todas as variáveis do modelo.

O objetivo desta análise é investigar o efeito sobre o número de terminais, de alguns parâmetros de operação como índice de utilização e tempos de parada do veículo.

Outros aspectos que foram analisados com este modelo incluem a influência da densidade de pontos de demanda para determinação do número ótimo de terminais de consolidação. Estas relações são analisadas com base no custo logístico médio por item que é calculado pela função (23).

Os parâmetros utilizados estão apresentados nos quadros 4.8 e 4.9. Dois cenários são investigados pelo modelo, o primeiro considerando maiores tempos de parada dos veículos e carregamento de carga solta (utilização máxima do veículo) e o segundo considerando menores tempos de parada e carregamento de carga paletizada (utilização um pouco menor do veículo).

Parâmetros	variável de decisão	I	II
custo de parada das carretas (\$/parada)	kst	48	6
custo de parada dos trucks (\$/parada)	ksd	40	5
tempo de parada das carretas (h)	tst	4	0,5
tempo de parada dos trucks (h)	tsd	4	0,5
forma de acondicionamento da carga	-	solta	unitizada
capacidade de carga das carretas (itens)	Vt	6000	5400
capacidade de carga dos trucks (itens)	Vd	3500	3200

Quadro 4.8 - cenários investigados pelo modelo macro-logístico.

Para o cenário I, onde os tempos de parada são altos e as cargas são colocadas soltas nos veículos, o custo logístico médio é de \$ 0,63 por item. Para o cenário II, onde os tempos de parada dos veículos são pequenos, o custo logístico médio é de \$ 0,61 por item.

Pela função (23) também foi possível determinar o número ótimo de terminais, que neste caso foi 5 terminais de consolidação de carga para atender 70 pontos de demanda espalhados por uma região de 316.400 km². Neste estudo de caso os 70 pontos representa o total de filiais da empresa e a área representa a soma dos territórios do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo (figura 4.18).

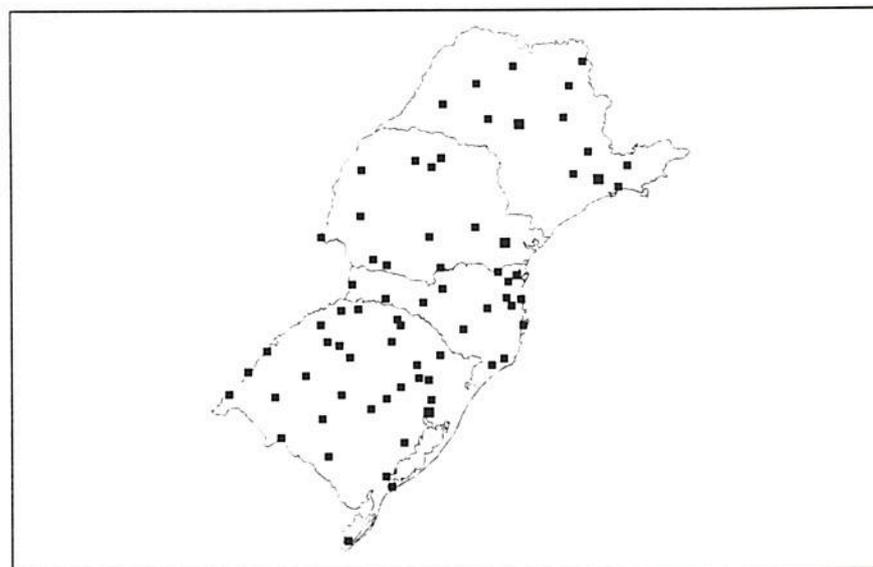


Figura 4.18 - mapa da localização das unidades da empresa nos estados RS, SC, PR e SP

A alteração dos parâmetros apresentados no quadro 4.8 (tempo de parada e capacidade de carga não chegaram a repercutir sobre o número de terminais ótimo que se manteve igual a 5. Apesar do número de terminais (M) ter alguma sensibilidade para parâmetros como tempo de parada e utilização dos veículos, os fatores que mais repercutem sobre a quantidade ótima de terminais é o número de pontos (N) de uma região e demanda desses pontos. O gráfico 4.16 apresenta o custo logístico médio por item *versus* número de terminais para várias quantidades de pontos de demanda distribuídos numa área A.

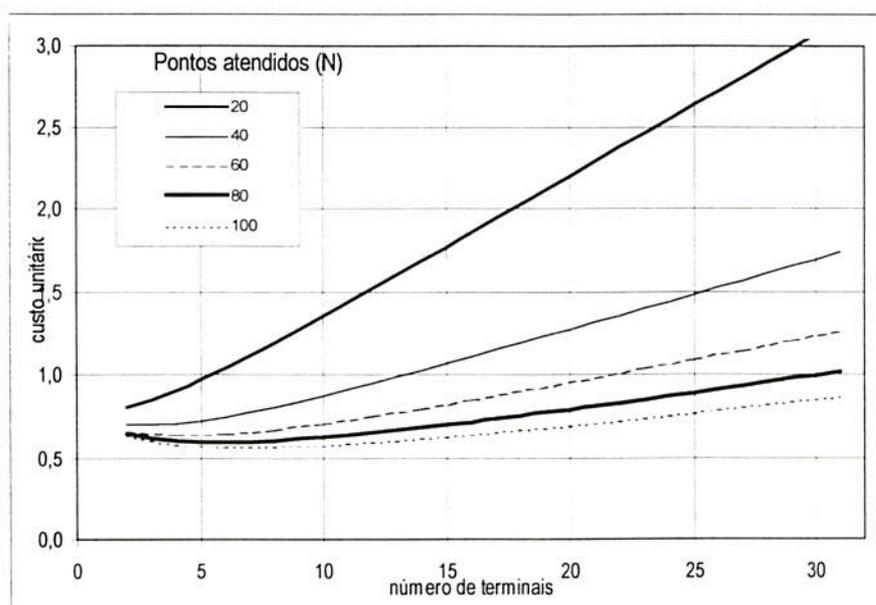


Gráfico 4.16 - custos logísticos médios totais para diversos números de terminais de transbordo.

As variáveis que mais repercutem sobre o número de terminais são o número de pontos distribuídos numa área (N) e a demanda existente nestes pontos (d). O gráfico 4.17 apresenta o impacto sobre os custos logísticos da densidade de pontos por região.

Em redes de distribuição muito densas a frequência de viagem é elevada (o que minimiza os custos de inventário) e a utilização dos veículos é alta (o que minimiza os custos de transporte).

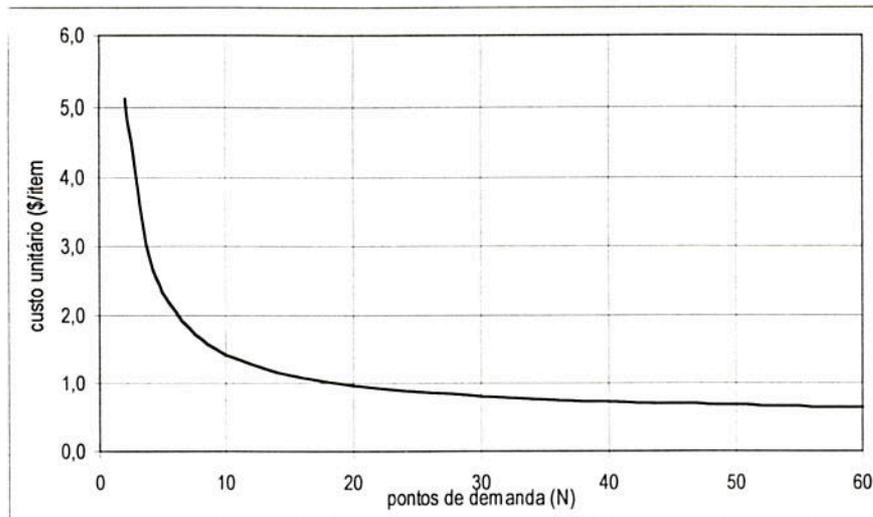


Gráfico 4.17 - custos logísticos médios totais para várias quantidades de pontos de demanda (N).

A medida que a demanda de carga por ponto (d) e por terminal (d') aumenta, o número de terminais ótimo também cresce. No limite, cada ponto de demanda torna-se um ponto de consolidação de carga. Partindo da premissa de que a demanda entre os pontos são equilibradas isto significaria que haveria uma rota partindo de cada ponto da rede para um dos N outros pontos.

O efeito das variáveis tempo de parada e capacidade do veículo estão relacionados neste exemplo à forma de acondicionamento da carga. Para a situação onde a carga é unitizada o tempo de carga e descarga do veículo sofre uma redução dramática de 4 horas para 30 minutos em média, porém compromete aproximadamente 10% da capacidade de carga do veículo. A análise de situação intermediárias pode-se investigar através de um gráfico que relaciona tempo de descarga com custos logísticos para dois níveis de utilização da capacidade do veículo (gráfico 4.18):

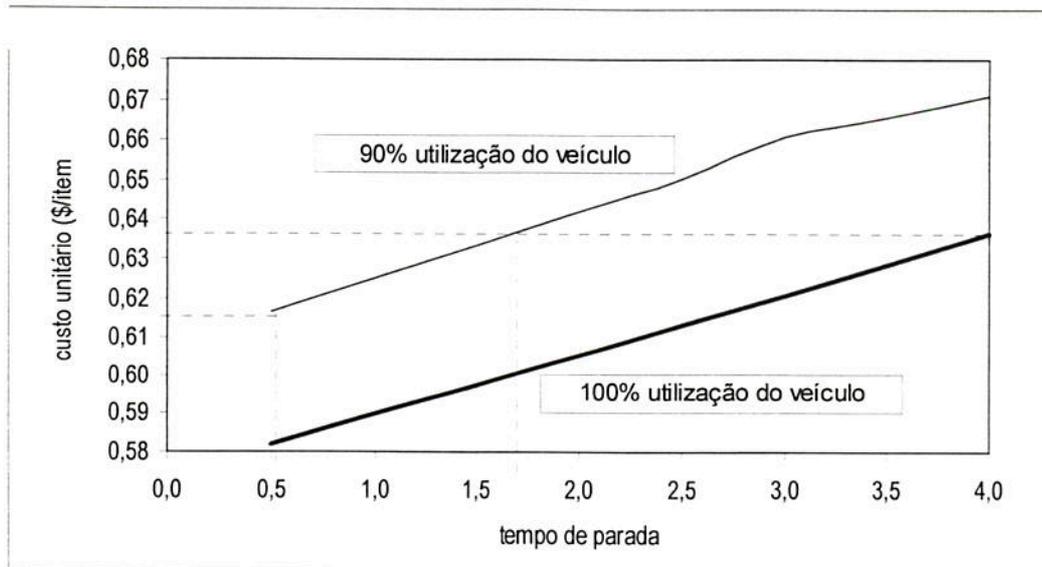


Gráfico 4.18 - custos logísticos médios totais versus tempos de descarga para índices de utilização de 90 e 100% da capacidade de carga do veículo.

Pelo gráfico 4.18 é possível observar que mesmo que a carga paletizada, que compromete 10% da capacidade do veículo, leve 1,7 h aproximadamente para ser retirada do veículo, o seu custo será equivalente ao custo logística da operação com carga solta (que permite 100% de utilização da capacidade dos veículos).

O modelo apresentado buscou relacionar o impacto de algumas variáveis de decisão dos níveis anteriores sobre o ponto de vista macro-logístico. As variações de tempo de parada dos veículos e a redução da utilização não chegaram a indicar a necessidade de aumento ou diminuição do número de terminais da rede de distribuição. Entretanto, houve uma diminuição do custo logístico médio por item transportado em função da maior eficiência obtida nas operações de distribuição da carga.

É importante destacar que modelos de aproximação contínua são uma abordagem para decisões estratégicas, visto que para decisões de longo prazo as informações também são aproximadas e incertas. Outro aspecto a ser destacado diz respeito a possibilidade de utilização neste modelo de dados obtidos por modelos que atuaram em outros níveis de análise (*e.g.* operações do terminal e interface terminal/rede).

As variáveis utilizadas neste modelo estão resumidas no quadro 4.9 que é apresentado na página a seguir.

variável	descrição	unidade	valores
<i>dados de demanda</i>			
N	número de pontos atendidos	(adimensional)	70
M	número de depósitos	(adimensional)	variável
A	área da região	[km ²]	314.600
d	demanda média dos pontos	[itens/mês/ponto]	28.000
ki	valor dos itens armazenados por mês	[\$/item/mês]	0,5
k	constante métrica	(adimensional)	0,75
k _o	custo fixo mensal por terminal	[\$/terminal/mês]	50.000
<i>coleta e distribuição</i>			
kf	custo de despacho	[\$/despacho]	50
kld	custo por quilômetro rodado	[\$/km]	1,0
ksd	custo por parada	[\$/h/parada]	10
Vd	capacidade do veículo de coleta/entrega	[itens/veículo]	3500
veld	quilometragem média mensal	[km/mês]	19.200
tsd	tempo de parada em meses	[meses/parada]	0,00556
Kdtd	distância entre paradas	[km]	50,3
Rd	linha de puxada para distribuição	[km]	167,0
Ld	percurso total da rota	[km]	385,0
Sd	paradas por rota local	(adimensional)	2
<i>frota de transporte</i>			
klt	custo por quilômetro rodado	[\$/km]	1,2
kst	custo por parada	[\$/parada]	48
vt	capacidade do veículo de viagem	[itens/veículo]	6.000
velt	quilometragem média mensal	[km/mês]	26.400
tst	tempo de parada em meses	[meses/parada]	0,00667
Kdtt	distância entre terminais	[km]	188,1
Rt	linha de puxada para viagem	[km]	334,0
Lt	percurso total da rota	[km]	669,0
St	paradas por viagem	(adimensional)	1

Quadro 4.9 - variáveis do modelo macroscópico.

Capítulo 5 - Conclusões

Este trabalho procurou aplicar um conjunto de ferramentas de análise com o objetivo de criar modelos representativos de algumas das operações de uma empresa de transporte de carga. Todos os modelos criados tiveram como objetivo subsidiar os processos de tomada de decisão na área de operações. As aplicações dos modelos foi estruturada de modo que o resultado de um servisse como um dos dados de entrada do outro, caracterizando uma abordagem hierarquizada do problema.

Como vantagens de uma abordagem nesse formato é possível destacar as seguintes:

- ◆ As ferramentas e técnicas para análise de cada um dos níveis do problema não precisam ser as mesmas ou de natureza semelhante. A escolha se dá, principalmente, pelas características de cada subsistema. Desta forma, pode-se utilizar a ferramenta mais adequada para cada tarefa;
- ◆ Com a utilização de ferramentas que atuam em diferentes níveis, mas que se comunicam-se entre si, torna-se facilitado o gerenciamento da massa de informações que cerca o problema.

Um outro aspecto que se mostrou fundamental para a aplicação desta abordagem é a adoção de um enfoque sistêmico dos processos envolvidos na análise.

Com respeito às ferramentas aplicadas nos 3 níveis de análise (operações do terminal, interface terminal/rede e rede de transporte) pode-se tecer as seguintes considerações.

A abordagem utilizada no primeiro nível foi o uso de funções de regressão múltipla multiplicativas. As funções estimadas permitiram associar as características das cargas (*e.g.* peso, volume, variedade, etc.) com o tempo de cada operação do processo. Esta solução foi adotada em virtude da impossibilidade de se estabelecer tempos-padrão para as operações de descarga e triagem das cargas através das técnicas tradicionais de cronoanálise.

Com base nestas funções foi possível analisar o *trade-off* entre os custos do terminal e o custo de transporte e quantificar alguns dos benefícios da unitização da carga como forma de agilizar as operações do terminal. Estas funções também serviram como parâmetro dos tempos de processamento no modelo de simulação que foi construído.

Para o segundo nível de análise, interface terminal/rede, a abordagem utilizada foi simulação computacional. A escolha desta ferramenta residiu basicamente no fato de que os processos de transbordo de carga incorporavam uma série de operações encadeadas, concorrência por recursos (*e.g.* equipes, plataformas, etc.) e variabilidade de tempos em todos os eventos do sistema modelado.

O objetivo deste nível foi determinar o número de veículos extras necessários no pátio para atender a demanda de carga com um determinado grau de confiabilidade. A redução dos tempos de descarga dos veículos e a redução dos atrasos de viagem possibilitaram a redução de 2 veículos reserva (de 6 para 4) para atender uma confiabilidade de 95% do cumprimento dos horários de saída.

Foi demonstrado que a implantação de uma política de unitização de carga mais intensa permitiria, além da redução dos tempos de descarga e triagem da carga, reduzir a variabilidade dos processos. Isto traz como resultado um ganho em termos de disponibilização da frota de veículos, sem que para isso seja necessária a aquisição de novos veículos, pois o aumento de oferta é em função da redução do número de veículos extras no pátio da empresa.

Devido a grande flexibilidade desta ferramenta (simulação), ela se mostrou bastante adequada para o tratamento deste tipo de problema, que contempla um grande número de operações e variáveis.

Para o terceiro e último nível de análise foi utilizado um modelo de aproximação contínua desenvolvido por Bernardo de Castilho que permitiu avaliar o impacto da redução dos tempos de parada dos veículos e da unitização da carga sobre o custo logístico médio dos itens.

A formulação desenvolvida permite determinar o número ótimo de terminais de consolidação para uma rede logística que opere de forma hierarquizada, como é o caso da

maioria das empresas de transporte de carga. Foi verificado, pelos dados inseridos no modelo que o número ótimo de terminais de consolidação para uma determinada rede de distribuição composta por 70 unidades espalhadas pelos estados da região sul juntamente com São Paulo é igual a 5.

Por fim, ao longo do trabalho foi possível consolidar informações em modelos de fácil aplicação que capturam os principais efeitos de decisões que devem ser tomadas nos níveis operacional, tático e estratégico. Os resultados obtidos mostraram que modelos de Pesquisa Operacional, quando corretamente empregados, são bastante confiáveis com respeito aos seus resultados.

5.1. Aplicação de modelos de Pesquisa Operacional no gerenciamento de terminais de empresas de transporte de carga

Os resultados obtidos no estudo de caso mostraram que o uso de modelos de Pesquisa Operacional são muito efetivos para o gerenciamento de processos logísticos, tanto em nível operacional como tático e estratégico.

Um outro aspecto levantado foi o perfil do profissional exigido para este tipo de atividade. Além da capacidade gerencial de resolver problemas do dia-à-dia, o que requer um profundo conhecimento das rotinas da empresa, o tomador de decisão deve ter cada vez mais a capacidade de criar e analisar modelos que representam os sistemas que ele gerência.

Com este trabalho percebeu-se que a simples disponibilidade de dados através de sistemas de informações não garante o conjunto de informações necessárias para o planejamento e as análises melhorias sobre as atividades operacionais. Estes sistemas são geralmente orientados para as atividades de controle das rotinas operacionais da empresa e são, via de regra, pouco flexíveis para o cruzamento de dados distintos.

Por todas estas razões, desde o início deste trabalho a empresa tem se preocupado em incorporar o uso de modelos de Pesquisa Operacional para as atividades de gerenciamento das operações da frota. Como resultado deste interesse, estão sendo feitos investimentos na estruturação de sistemas de informações mais flexíveis (*e.g.* banco de dados relacionais, ferramentas de desenvolvimento de fácil manuseio, software para o gerenciamento de *workflow*), no uso de tecnologia de coleta automática de dados (código de barras), que permite a aquisição de uma grande variedade de dados a um baixo custo, e na utilização de um sistema de informações geográfica (GIS) para análises de indicadores operacionais da empresa.

Os modelos utilizados neste trabalho estão sendo absorvidos principalmente como exemplo das potencialidades do uso de modelos de Pesquisa Operacional pela empresa. O resultado mais significativo que está sendo implementado é o esforço para aceleração da descarga como forma de aumentar a oferta de veículos e o projeto do uso de código de barras para acelerar os processo de triagem de carga e de geração de documentação para viagem.

5.2. Propostas para estudos futuros

Dentre as diversas linhas de pesquisa que foram identificadas ao longo deste trabalho, algumas que deverão merecer especial atenção por pesquisadores e profissionais da área são:

- ◆ Estudos empíricos sobre o impacto da integração de cadeias produtivas decorrente do uso de novas tecnologias como código de barras, EDI e bancos de dados cada vez mais robustos para o tratamento de informações desagregadas;
- ◆ Estudos empíricos que identifiquem de que forma empresas estão adotando conceitos de gestão como o ECR e o SCM. Embora ambos os termos estejam bastante difundidos no meio empresarial, parece haver uma falta de entendimento

quanto as mudanças tecnológicas e organizacionais necessárias para a efetividade da aplicação destes conceitos;

- ◆ Aplicação de modelos de Pesquisa Operacional junto à sistemas de informações geográficas que permitam a visualização dos resultados e a integração com outros indicadores gerenciais das empresas;
- ◆ A importância da logística para efetiva operação dos sistemas Just-In-Time. Este tema permite a aplicação de diversos modelos de análise integrada de problemas de gerenciamento de transportes e inventário para demonstrar a importância e a necessidade do uso de modelos quantitativos para a obtenção de operações dentro do chamado sistema JIT;
- ◆ A análise de outros problemas de logística através de abordagem hierarquizada como o problema da integração entre manufatura, estocagem e distribuição física.

Referências bibliográficas

- ARAÚJO, A. L. M. e WANKE, P., *Indicadores de Produtividade como instrumento de apoio à decisão em operações de armazenagem*, Anais do XVI Congresso Anual de Engenharia de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, SP, 1996.
- BALAKRISHNAN, N., ARNOLD, L. R., *Heuristics for two-level Hierarchical transportation networks*, Journal of Operational Research Society, Vol. 44, N° 12, pp. 1183-1190, 1993.
- BALLOU, R.H., *Logística Empresarial*. Editora Atlas, São Paulo, 1993.
- BLUMENFELD, D. E., BURNS, L. D., DILTZ, D. J. e DAGANZO, C. F., *Analyzing Trade-offs between Transportation, Inventory and Production Costs on Freight Networks*, Transportation Research, Vol. 19B, N° 5, pp. 361-380, 1985.
- BLUMENFELD, D. E., BURNS, L. D., FRICK, M. C., DAGANZO, C. F. e HALL, R. W., *Reducing Logistics Costs at General Motors*, The Privete Carrier, April, 1987.
- BOWERSOX, D. J., *The Strategic Benefits of Logistics Alliances*, Harvard Business Review, July-August 1990.
- BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J. e HELFERICH, O. K., *Logistical Management*, Macmillan, 1986.
- BRADLEY, P., *Trucking in JIT*, Purchasing, Vol. 113, N° 3, pp. 67-70, 1992.
- BURNS, L. D., DAGANZO, C. F., HALL, R. W. and BLUMENFELD, D. E., *Distribution Strategies that minimize Transportation and Inventory Costs*, Operations Research, Vol. 33, N° 3, 1985.
- CASSEL, R. A., *Desenvolvimento de uma abordagem para a divulgação da simulação no setor calçadista gaúcho*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 1996.
- CHANDRA, P., *A Dynamic Distribution Model with warehouse and Replenishment Requeriments*, Journal of Operational Research Society, Vol. 44, N° 7, july, 1993.
- CORREIA, M., *EDI-MHS - A comunicação empresarial global*, Editora Érica Ltda.
- DAGANZO, C. F., *The lenght of tours in zones of different shapes*, Transportation Research, Vol. 18B, N° 2, pp. 135-145, 1984.
- DAGANZO, C. F., *Logistics Systems Analysis*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, Berlin, 1991.
- DAGANZO, C. F., *Supplying a Single Location from Heterogeneous Sources*, Transportation Research, Vol. 19B, N° 5, pp. 409-419, 1985a.
- DAGANZO, C. F., NEWELL, G. F., *Physical Distribution from a warehouse: Vehicle Coverage and Inventory Levels*, , Transportation Research, Vol. 19B, N° 5, pp. 397-407, 1985b.
- DASKIN, M. S., *Logistics: An Overview of the State of the Art and Perspectives on Future Research*, Transportation Research, Vol. 19A, N° 5/6, pp. 383-398, 1985.

- FLANNERY, W. H., TENKOLSKY, S. A. e VETTERLING, W. T., *Numerical Recipes Inc.*, Cambridge University Press, pp. 343-352, 1988.
- FOSTER, T. A., *What to tell your boss about logistics*, Distribution, Vol. 93, N° 4, april, 1994.
- GOLDEN, B. e BAKER, E. K., *Future Directions in Logistics Research*, Transportation Research, Vol. 19A, N° 5/6, pp. 405-409, 1985.
- GURNEY, B., DISCENZA, R., *Facilitating Shop-Floor Bar-Coding Implementation: A Do-it-yourself approach for small firms*, Production and Inventory Management Journal, fourth quarter, pp. 1-5, 1992.
- HALL, Randolph W., *Research Oportunities in Logistics*, Transportation Research, Vol. 19A, N° 5/6, pp. 399-402, 1985a.
- HALL, Randolph W., *Direct versus terminal freight routing on a network with concave costs*, Transportation Research, Vol. 21B, N° 4, pp. 287-298, 1987.
- HALL, Randolph W., *Determinig Vehicle Dispatch frequency when shipping frequency differs among suppliers*, Transportation Research, Vol. 19B, N° 5, pp. 421-431, 1985b.
- HALL, Randolph W., DU, Yafeng e LIN, Julia, *Integration of discrete and continuous models for routing vehicles*, Departament of Industrial Engineering and Operations Research, and The Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, CA.
- HALL, Robert W., *Zero Inventories*, Dow Jones-Irwin, 1983.
- HARMON, R. L., PETERSON, L. D., *Reinventando a Fábrica - Conceitos Modernos de Produtividade Aplicados na Prática*, Editora Campus, RJ, 1991.
- HARMON, Roy L., *Reinventando a Distribuição - Logística de Distribuição Classe Mundial*, Editora Campus, RJ, 1994.
- HENDRICKSON, C. T., *Foreward: Logistics and Transportation Research*, Transportation Research, Vol. 19B, N° 5, 1985.
- HESKETT, J. L., *Logistics - essential to strategy*, Harvard Business Review, november-december, 1977.
- HOLLOCKS, B., *A well-kept secret? Simulation in manufacturing industry reviewed*, OR Insight, october-december. 1992, pp. 12-17.
- JORDAN, W. C., BURNS, L. D., *Truck Backhauling on two terminal networks*, Transportation Research, Vol. 18B, N° 6, pp. 487-503, 1984.
- LAW, A. M. & KELTON, W. D., *Simulation Modeling & Analysis*, McGraw-Hill Books Co., NY, Second Edition, 1991.
- MACKEY, M., *Achieving Inventory Reduction Through The use of Partner-Shipping*, Industrial Engineering, Vol. 24, N° 5, pp. 36-38, 1992.
- MARTEL, M. C., *The role of Just-In-Time purchasing in Dynapert's transition to world-class Manufacturing*, Production and Inventory Management Journal, second quarter, pp. 71-76, 1993.
- MONTGOMERY, D. C., *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons, Third Edition, NY, 1991.

- Natural Center for Manufacturing Sciences, *Competing in World-Class Manufacturing*, Richard D. Irwin Inc., Homewood, IL 60430, pp. 203-261, 1990.
- NEWELL, G. F. and DAGANZO, C. F., *Design of Multiple Vehicle Delivery Tours - II Other Metrics*, Transportation Research, Vol. 20B, N° 5, pp. 365-376, 1986.
- NEWHART, D. D., STOTT, K. L. e VASKO, F. J., *Consolidating product sizes to minimize inventory levels for a multi-stage production and distribution system*, Journal of Operational Research Society, Vol. 44, N° 7, pp. 637-644, 1993.
- NOVAES, A.G., e ROSSETO, C. F., *Localização de depósito numa rede logística com o auxílio de GIS*, Anais da ANPET.
- NOVAES, A.G., *Análise de Custos de Distribuição Física de Produtos*, Anais da ANPET.
- NOVAES, A.G., *Relações métricas e aproximações em redes logísticas*, Anais da ANPET, 1993.
- NOVAES, A.G., *Sistemas Logísticos: Transporte, Armazenagem e Distribuição Física de Produtos*, Editora Edgar Blücher LTDA, São Paulo, 1989.
- NOVAES, A. G., ALVARENGA, A. C., *Logística Aplicada*, Editora Pioneira, São Paulo, 1994.
- ODIER, L., *Os Benefícios Econômicos das Realizações Rodoviárias*, Instituto de Pesquisas Rodoviárias/CNPq, Rio de Janeiro, 1970, pp. 5.
- PANITZ, C. E. P., *Fluxos Logísticos: Configurações Decorrentes da Integração de Sistemas Produtivos*, Anais do XV Congresso Anual de Engenharia de Produção, Universidade de São Carlos, SP, 1995.
- PANITZ, C. E. P., *Pesquisa Sobre Configurações de Cadeias de Suprimentos em Empresas Industriais do Rio Grande do Sul*, Anais do XVI Congresso Anual de Engenharia de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, SP, 1996.
- PAULSON, J., *EDI - An implementation review*, Production and Inventory Management Journal, second quarter, pp. 77-81, 1993.
- PAYNE, T. E., *Acme Manufacturing: A case study in JIT Implementation*, Production and Inventory Management Journal, second quarter, pp. 82-86, 1993.
- PIDD, M., *Computer Simulation in Management Science*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, pp. 243-303, 1992.
- POWELL, W. B., *Marginal cost pricing of truckload services: a comparison of two approaches*, Transportation Research, Vol. 19B, N° 5, pp. 433-445, 1986.
- PRESS, W. H., FLANERY, B. P., TENKOLSKY, S. A. and VETTERLING, W. T., *Numerical Recipes Inc.*, Cambridge University Press, 1988.
- RENDER, B., HEIZER, J., *Principles of Operations Management*, Allyn and Bacon, Massachusetts, 1994.
- RIBEIRO, J. L. D., Apostila da disciplina 'Planejamento e Avaliação de Experimentos', Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grando do Sul, 1995.

- RODRIGUES, L. H., *Developing an approach to help companies synchronise manufacturing*, Dissertação de doutorado, Department of Management Science, Lancaster University, UK, 1994.
- ROSANDER, A.C., *Applications of Quality Control in the Service Industries*, ASQC Quality Press, Milwaukee, WI, 1985.
- SHEFFI, Y., *Some Analytical Problems in Logistics Research*, Transportation Research, Vol. 19A, N° 5/6, pp. 402-405, 1985.
- SCHOFER, J. L. e BOYCE, D. E., *Conference Summary and Conclusions*, Transportation Research, Vol. 19A, N° 5/6, pp. 351-354, 1985.
- TAHA, H. A., *Operations Research - An Introduction*, Macmillan Publishing Co., Third Edition, 1982.
- Transporte Moderno, *Como a Fiat dobrou a produção*, março, 1995.
- TURNQUIST, M. A., *Research Opportunities in Transportation System Characteristics and Operations*, Transportation Research, Vol. 19A, N° 5/6, pp. 357-366, 1985.
- VOLKEMA, R. J., *Creative in MS/OR: Managing the Process of Formulating the Problem*, Interfaces, Vol. 25, N° 3, pp. 81-87, May-June, 1995.
- UDO, G. J., *The Impact of Telecommunications on Inventory Management*, Production and Inventory Management Journal, second quarter, pp. 32-37, 1993.
- WINSTON, W. L., *Operations Research - Applications and Algorithms*, Duxbury Press, Belmont, CA, Third Edition, 1994.
- WILLIS, T. H., HUSTON, C. R. e POHLKAMP, F., *Evaluation Measures of Just-In-Time Supplier Performance*, Production and Inventory Management Journal, second quarter, pp. 1-6, 1993.
- Workshop Report, *Fundamental Research on Logistic Systems*, Transportation Research, Vol. 19A, N° 5/6, pp. 381-382, 1985.

ANEXOS

Variáveis do modelo de simulação

Variável	Ocorrência (Task, Queue, Function ou Event Queue)	Reinicialização após 24:00 h	Função	Expressão
c[0]	QN 8 (pátio),	não	acumula carretas no pátio	c[0]+=1;
c[1]	EQ 1440, DT 1 (gera veículos),	não	acumula c[2] e c[3] dos dias anteriores	c[1]+=c[2] + c[3];
c[2]	QN 1 (cheg. carretas)	sim	acumula chegada de carretas no dia i	c[2]+=1;
c[3]	QN 2 (cheg. trucks)	sim	acumula chegada de trucks no dia i	c[3]+=1;
c[4]	TN 1 (gera veículos)	não	acumula geração de tags	c[4]+=1;
c[5]	EQ		incorpora o valor a ser liberado numa determinada faixa do dia e subtrai os veículos tipo carreta que já chegaram	c[5]+= c[6];
c[6]	EQ	não	incorpora o valor a ser liberado de carretas	c[6]:= truncate(____*cheg_ve[0]);
c[7]	EQ		incorpora o valor a ser liberado numa determinada faixa do dia e subtrai os veículos tipo truck que já chegaram	c[7]+= c[8];
c[8]	EQ	não	incorpora o valor a ser liberado de trucks	c[8]:= truncate(____*cheg_ve[1]);
c[9]	TN 2 (cheg. carretas)	não	acumula chegada de carretas do fim de semana	if clock==0 then c[9]+=1;
c[10]	TN 3 (cheg. trucks)	não	acumula chegada de trucks do fim de semana	if clock==0 then c[10]+=1;
c[11]	TN 13 (saída 12h)	sim	acumula saída de carretas às 12:00 h	c[11]+=1;
c[12]	TN 14 (saída 18h)	sim	acumula saída de carretas às 18:00 h	c[12]+=1;
c[13]	TN 15 (saída 19h)	sim	acumula saída de carretas às 19:00 h	c[13]+=1;
c[14]	TN 16 (saída 20h)	sim	acumula saída de carretas às 20:00 h	c[14]+=1;
c[15]	TN 17 (saída 21h)	sim	acumula saída de carretas às 21:00 h	c[15]+=1;
c[16]	TN 18 (saída 22h)	sim	acumula saída de carretas às 22:00 h	c[16]+=1;
c[17]	TN 19 (saída 0h)	sim	acumula saída de carretas às 0:00 h	c[17]+=1;
c[18]	QN 4 (espera por box livre)	não	acumula carretas e trucks que chegaram no fim de semana para teste de liberação do clock na Task 3	if clock==0 then c[18]+=1 else b[0]+=1;
c[19]	TN 8 (pátio)	sim	acumula todas as carretas que saíram do pátio	c[19]+=1;
c[20]	TN 11 (carregamento) e DT 8 (pátio)	sim	acumula carretas que passaram pelo carregamento (Task)	c[20]+=1;
c[21]	QN 11 (carregamento) e DT 8 (pátio)	sim	acumula carretas que passaram pelo carregamento (Queue)	c[21]+=1;
c[22]	QN 13 (saída 12h)	sim	acumula saída de carretas às 12:00 h	c[22]+=1;
c[23]	QN 14 (saída 18h)	sim	acumula saída de carretas às 18:00 h	c[23]+=1;
c[24]	QN 15 (saída 19h)	sim	acumula saída de carretas às 19:00 h	c[24]+=1;
c[25]	QN 16 (saída 20h)	sim	acumula saída de carretas às 20:00 h	c[25]+=1;
c[26]	QN 17 (saída 21h)	sim	acumula saída de carretas às 21:00 h	c[26]+=1;
c[27]	QN 18 (saída 22h)	sim	acumula saída de carretas às 22:00 h	c[27]+=1;
c[28]	QN 19 (saída 0h)	sim	acumula saída de carretas às 0:00 h	c[28]+=1;
b[0]	QN 5 (espera box livre)	não	acumula veículos que ficaram na fila da espera por box livre	if clock==0 then c[18]+=1 else b[0]+=1;
b[1]	QN 22 (descarga)	não	acumula veículos que ficaram na fila para descarga	b[1]+=1;
b[2]	QN 5 (retirada carreta)	não	acumula carretas que ficaram na fila para serem retiradas da descarga	b[2]+=1;
b[3]	QN 6 (revisão)	não	acumula carretas que ficaram na fila para revisão	b[3]+=1;
b[4]	QN 7 (oficina)	não	acumula veículos que ficaram na fila para reparos na oficina	b[4]+=1;

Variáveis do modelo de simulação (continuação)

Variável	Ocorrência (Task, Queue, Function ou Event Queue)	Reinicialização após 24:00 h	Função	Expressão
b[5]	QN 13 (saída 12h)	não	acumula veículos que ficaram na fila para saída às 12h	b[5] += 1;
b[6]	QN 14 (saída 18h)	não	acumula veículos que ficaram na fila para saída às 12h	b[6] += 1;
b[7]	QN 15 (saída 19h)	não	acumula veículos que ficaram na fila para saída às 12h	b[7] += 1;
b[8]	QN 16 (saída 20h)	não	acumula veículos que ficaram na fila para saída às 12h	b[8] += 1;
b[9]	QN 17 (saída 21h)	não	acumula veículos que ficaram na fila para saída às 12h	b[9] += 1;
b[10]	QN 18 (saída 22h)	não	acumula veículos que ficaram na fila	b[10] += 1;
b[11]	QN 19 (saída 0 h)	não	acumula veículos que ficaram na fila	b[11] += 1;
cheg_ve[0]		sim	variável onde é atribuído o nº de carretas que chegam de viagem	cheg_ve[0] := truncate((lognormal(11,2)))
cheg_ve[1]		sim	variável onde é atribuído o nº de trucks que chegam de viagem	cheg_ve[1] := truncate((lognormal(11,2)))
cheg_ve[2]		não	variável onde é atribuído nº de carretas que chegam no fim de semana	cheg_ve[2] := truncate((lognormal(11,2)))
cheg_ve[3]		não	variável onde é atribuído nº de trucks que chegam no fim de semana	cheg_ve[3] := truncate((lognormal(11,2)))
coleta[0]		sim	acumula o nº de coletas diretas em cada dia	
coleta[1]		sim	acumula o nº de coletas diretas em cada dia	
coleta[2]		sim	acumula o nº de coletas diretas em cada dia	
coleta[3]		sim	acumula o nº de coletas diretas em cada dia	
coleta[4]		sim	acumula o nº de coletas diretas em cada dia	
equip	TN 6 (descarga), EQ	sim	aloca equipes ao longo do dia	equip += 1; equip = 1;
hd[0]			incorpora o headway entre duas chegadas de carretas	
hd[1]			incorpora o headway entre duas chegadas de trucks	
i	EQ 1440	sim	acumula a passagem dos dias (24h)	i += 1; (a cada 1440 min)
identif[tag]	TN 2 (cheg. carretas), TN 3 (cheg. trucks)	não	atribui índice de identificação as tags (1 para carretas e 2 para trucks)	
patio	QN 8 (pátio)	não	acumula nº de carretas disponíveis no pátio	patio += 1; patio = 1;
tempo			apresenta o tempo transcorrido do dia i	tempo := clock - 1440*i;
atraso[0]				
atraso[1]				
atraso[2]				
atraso[3]				
atraso[4]				
atraso[5]				
atraso[6]				

Variáveis do modelo de simulação (continuação)

Variável	Ocorrência (Task, Queue, Function ou Event Queue)	Reinicialização após 24:00 h	Função	Expressão
fila[0]	QN 4		espera box	
fila[1]	QN 22		aguarda equipe	
fila[2]	QN 5		retirada carreta	
fila[3]	QN 6		revisão	
fila[4]	QN 7		oficina	
fila[5]	QN 13		saída 12h	
fila[6]	QN 14		saída 18h	
fila[7]	QN 15		saída 19h	
fila[8]	QN 16		saída 20h	
fila[9]	QN 17		saída 21h	
fila[10]	QN 18		saída 22h	
fila[11]	QN 19		saída 0h	
fila[12]	QN 9		coleta direta	
fila[13]	QN 10		coleta parcial	
fila[14]	QN 12		coleta local	
fila[15]	QN 11		carregamento	

Listagem do modelo de simulação construído no Micro Saint

```

1
+++++
1
1
gera veiculos
0
clock==1440*i;
--
4
1
2
3
8
0
1
4
--
5
c[4] < c[1];
--
c[0] >= a[2,0] & (c[9] < cheg_ve[2] |
c[2] < cheg_ve[0]);
--
c[2] >= cheg_ve[0] & (c[10] <
cheg_ve[3] | c[3] < cheg_ve[1]);
--
c[0] < a[2,0];
--
tag+=1; c[4]+=1;
--
+++++
1
2
cheg. carretas
0
(c[9]<cheg_ve[2])(clock>(330+1440*i
) & c[6]>0);
--
1
4
1
1
1
if clock==0 then 0 else rect(15,0);
--
2
1;
--
if clock > 0 then uso[3]+=1, c[6]=1; if
clock == 0 then c[9]+=1;
identif[tag]=1;
--
if clock > 0 then uso[3]=1, c[39]+=1;
--
+++++
1
3
cheg. trucks
0
(c[10]<cheg_ve[3])(clock>1440*i &
uso[4]==0 & c[8]>0);
--
1
4
1
0
1
1;
--
if clock > 0 then uso[4]+=1, c[8]=1;
hd[1];
--
2
1;
--
if clock > 0 then uso[4]=1;
--
+++++
1
4
tráfego
0
1;
--
1
5
2
1
1
if clock==0 then 0 else 8;
--
if clock==0 then 0 else 2;
--
2
1;
--
if identif[tag]==1 then uso[0]+=1;
--
if identif[tag]==1 then uso[0]=1;
--
+++++
1
5
espera box livre
0
clock>1440*i & uso[1]<15;
--
1
6
3
1
1
--
2
1;
--
uso[1]+=1;
--
+++++
2
6
Terminal
0
(equip[0]>0)&(clock<=(1439+1440*i));
--
1
20
4
1
7
+++++
1
7
descarga
6
1;
--
2
20
25
1
2
1
descarga_3;
--
5
1;
--
1;
--
equip[0]=1; pu := lognormal(16,4);
vol := lognormal(0.02,0.008);
var := normal(11,4);
if identif[tag]==1 then uso[9]+=1;
--
if identif[tag]==1 then uso[9]=1, c[40]+=1;
--
+++++
1
8
pátio
0
clock>(1440*i) & c[19]<
(coleta[3]+coleta[4]+12);
--
5
9
10
11
12
8
1
3
1
--
4
maximum(coleta[0],coleta[5]) < coleta[3];
--
maximum(coleta[1],coleta[6])>= coleta[4]
& maximum(coleta[2],coleta[7]) <
coleta[8];
--
maximum(coleta[2],coleta[7])>= coleta[8]
&
maximum(c[20],c[21]) < 12;
--

```

```

maximum(coleta[0],coleta[5])>=
coleta[3] &
maximum(coleta[1],coleta[6]) <
coleta[4];
--
c[19] >= (coleta[3]+coleta[4]+12);
--
c[19]+=1;
--
--
+++++
1
9
c. direta
0
clock>=(420+1440*i);
--
0
2
4
1
540;
--
60;
--
1
coleta[0]+=1;
--
--
+++++
1
10
c. parcial
0
clock>=(600+1440*i);
--
1
11
2
5
5
180;
--
90;
--
2
1;
--
coleta[2]+=1; uso[11]+=1;
--
uso[11]=1;
--
+++++
1
11
carregamento
0
(c[20]<1 & clock>=(540+1440*i)) |
(clock>=(840+1440*i) & equip[1]>0);
--
7
14
15
16
17
13
18
19

```

```

4
5
1
carreg;
--
4
maximum(c[11],c[22])>= 1 &
maximum(c[12],c[23])<1;
--
maximum(c[12],c[23])>=1 &
maximum(c[13],c[24])<2;
--
maximum(c[13],c[24])>=2 &
maximum(c[14],c[25])<2;
--
maximum(c[14],c[25])>=2 &
maximum(c[15],c[26])<4;
--
maximum(c[11],c[22])<1;
--
maximum(c[15],c[26])>=4 &
maximum(c[16],c[27])<1;
--
maximum(c[16],c[27])>=1 &
maximum(c[17],c[28])<1;
--
c[20]+=1; equip[1]=1;
--
--
equip[1]+=1;
--
+++++
1
12
c. local
0
clock>=(420+1440*i);
--
1
4
2
3
1
400;
--
60;
--
2
1;
--
coleta[1]+=1; uso[10]+=1;
identif[tag]=1;
--
--
uso[10]=1;
--
+++++
1
13
saida 12h
0
clock >= (720+1440*i);
--
0
5
5
1
--
--
--

```

```

1
c[11]+=1;
atraso[0]+=clock-(720+1440*i);
if atraso[0] > 60 then x[1]+=1;
if atraso[0] > 5 then x[0]+=1;
--
--
--
+++++
1
14
saida 18h
0
clock >= (1080+1440*i);
--
0
5
6
1
--
--
1
c[12]+=1;
atraso[1]+=clock-(1080+1440*i);
if atraso[1] > 60 then x[1]+=1;
if atraso[1] > 5 then x[0]+=1;
--
--
--
+++++
1
15
saida 19h
0
clock >= (1140+1440*i);
--
0
5
7
1
--
--
--
c[13]+=1;
atraso[2]+=clock-(1140+1440*i);
if atraso[2] > 60 then x[1]+=1;
if atraso[2] > 5 then x[0]+=1;
--
--
--
--
+++++
1
16
saida 20h
0
clock >= (1200+1440*i);
--
0
5
8
1
--
--
--
1
c[14]+=1;
atraso[3]+=clock-(1200+1440*i);
if atraso[3] > 60 then x[1]+=1;
if atraso[3] > 5 then x[0]+=1;
--
--
--

```

```

+++++
1
17
saida 21h
0
clock >= (1260+1440*i);
--
0
6
6
1
--
--
1
c[15]+=1;
atraso[4]+=clock-(1260+1440*i);
if atraso[4] > 60 then x[1]+=1;
if atraso[4] > 5 then x[0]+=1;
--
--
+++++
1
18
saida 22h
0
clock >= (1320+1440*i);
--
0
6
7
1
--
--
1
c[16]+=1;
atraso[5]+=clock-(1320+1440*i);
if atraso[5] > 60 then x[1]+=1;
if atraso[5] > 5 then x[0]+=1;
--
--
+++++
1
19
saida 0h
0
(clock >= (1439+1440*i))(clock >=
(1+1440*(i+1)));
--
0
6
8
1
--
--
1
c[17]+=1;
atraso[6]+=clock-(1439+1440*i);
if atraso[6] > 60 then x[1]+=1;
if atraso[6] > 5 then x[0]+=1;
--
--
+++++
1
20
retirada veiculo
0
1;
--

```

```

2
21
24
5
1
2
14;
--
--
4
identif[tag]==1;
--
identif[tag]==2;
--
if identif[tag]==1 then uso[12]+=1;
--
--
if identif[tag]==1 then uso[12]-=1;
uso[1]=1;
--
+++++
1
21
revisão
0
(clock >= (450+1440*i) & clock <=
(1320+1440*i) & uso[6]==0)
(patio==0);
--
1
22
4
3
5
15;
--
3;
--
2
0.8;
--
uso[6]+=1;
--
--
uso[6]=1;
--
+++++
1
22
oficina
0
((clock >= (450+1440*i))&(clock <=
(1320+1440*i)))(patio==0);
--
2
8
23
5
3
1
oficina;
--
--
4
patio==0;
--
patio>=1;
--
uso[7]+=1;
--
--

```

```

uso[7]=1;
--
+++++
1
23
Lavagem
0
clock >= (450+1440*i) & clock <=
(1320+1440*i) & uso[8]==0;
--
1
8
6
3
5
30;
--
5;
--
2
1;
--
uso[8]+=1;
--
--
uso[8]=1;
--
+++++
1
24
libera truck
0
(c[42]<3 & clock>=(540+1440*i) &
equip[1]>0) | (clock>=(840+1440*i) &
equip[1]>0);
--
0
6
1
5
60;
--
15;
--
1
c[37]+=1;
equip[1]=1;
--
--
equip[1]+=1;
--
+++++
1
25
processamento
6
1;
--
0
2
2
1
process_3;
--
1
--
equip[0]+=1;
--
+++++

```

```

*****
1
1
carretas do dia i
2
1
--
c[2]+=1;
--
+++++
1
2
trucks do dia i
3
1
--
c[3]+=1;
--
+++++
1
4
espera box
5
1
--
fila[0]+=1;
if clock==0 then c[18]+=1 else
b[0]+=1;
--
if clock > 540 then b[16]:=duration;
fila[0]-=1;
--
+++++
1
6
revisão
21
1
--
fila[3]+=1;

--
fila[3]=1;
--
+++++
1
7
oficina
22
1
--
fila[4]+=1;

--
fila[4]=1;
--
+++++
1
8
disponibilidade
8
1
--
patio+=1;
c[0]+=1;
--
patio-=1;
--
+++++
1
9
coleta direta
9
1
--
fila[12]+=1;
coleta[5]+=1;

--
fila[12]=1;
--
+++++
1
10
coleta parcial
10
1
--
fila[13]+=1;
coleta[7]+=1;
--
fila[13]=1;
--
+++++
1
11
carregamento
11
1
--
c[21]+=1;
fila[15]+=1;
--
fila[15]=1;
--
+++++
1
12
coleta local
12
1
--
fila[14]+=1;
coleta[6]+=1;
--
fila[14]=1;
--
+++++
1
13
saída 12h
13
1
--
fila[5]+=1; b[5]+=1;
c[22]+=1;
--
fila[5]=1;
--
+++++
1
14
saída 18h
14
1
--
fila[6]+=1; b[6]+=1;
c[23]+=1;
--
fila[6]=1;

1
9
+++++
1
15
saída 19h
15
1
--
fila[7]+=1; b[7]+=1;
c[24]+=1;
--
fila[7]=1;
--
+++++
1
16
saída 20h
16
1
--
fila[8]+=1; b[8]+=1;
c[25]+=1;
--
fila[8]=1;
--
+++++
1
17
saída 21h
17
1
--
fila[9]+=1; b[9]+=1;
c[26]+=1;
--
fila[9]=1;
--
+++++
1
18
saída 22h
18
1
--
fila[10]+=1; b[10]+=1;
c[27]+=1;
--
fila[10]=1;
--
+++++
1
19
saída 0h
19
1
--
fila[11]+=1; b[11]+=1;
c[28]+=1;
--
fila[11]=1;
--
+++++
1
20
aguarda equipe
6
1
--
fila[1]+=1;
--

```

if clock > 540 then b[15]:=duration:	4.000000	1
fila[1]=1;	+++++	0.000000
--	clock	+++++
+++++	System Variable	seed
1	2	System Variable
22	0.000000	1
retirada veiculo	+++++	1.000000
20	coleta	+++++
1	acumular o n° de coletas por t	tag
--	3	System Variable
fila[2]+=1;	1	1
--	9	0.000000
fila[2]=1;	0.000000	+++++
--	+++++	uso
+++++	d	disponibilidade de recurso
1	incorpora o valor da function	3
23	4	1
aguarda lavagem	1	13
23	3	0.000000
1	0.000000	+++++
--	+++++	var
fila[16]+=1;	duration	variedade de carga
--	System Variable	2
fila[16]=1;	2	9.000000
--	0.000000	+++++
+++++	+++++	vol
1	equip	volume cúbico da carga
24	aloca equipes de descarga	2
--	3	0.020000
24	1	+++++
1	2	x
--	0.000000	3
--	+++++	1
--	fila	2
+++++	acumular tamanho das filas	0.000000
*****	3	+++++
a	1	*****
acumula veiculos do sistema	17	carreg
3	0.000000	tempo para carregamento
2	+++++	d[2]:=lognormal(120,20);
2	hd	if (1439+1440*i - clock) < d[2] then
6	headway	atraso[6]:=d[2] - (1439+1440*i - clock);
0.000000	4	0 else d[2];
+++++	1	--
atraso	2	+++++
medir os atrasos de saida dos	0.000000	descarga_1
4	+++++	lead time situação atual
1	i	if var < 1 then var := 1;
7	incrementar dias de simulação	d[0]:= 0.363*vol^0.81*nv +
0.000000	1	0.89*(0.01*pu^1.33*nv/(60*vol^0.7));
+++++	0.000000	if d[0]>240 then d[0]:=240;
b	+++++	if d[0]<5 then d[0]:=5; d[0];
acum. tags que ficaram em fila	identif	--
3	diferenciar truck de carretas	+++++
1	3	descarga_2
19	1	50% carga unitizada
0.000000	1000	if var < 1 then var := 1;
+++++	0.000000	d[0]:= 0.363*vol^0.81*nv +
c	+++++	0.50*(0.01*pu^1.33*nv/(60*vol^0.7));
var aux	patio	if d[0]>150 then d[0]:=150;
3	acumula disponibilidade	if d[0]<5 then d[0]:=5; d[0];
1	1	--
42	0.000000	+++++
0.000000	+++++	descarga_3
+++++	pu	50% unitizada 25% roteirizada
cheg_ve	peso unitario da carga	if var < 1 then var := 1;
atribui número de carretas que	2	d[0]:= 0.363*vol^0.81*nv +
4	12.000000	0.5*(0.01*pu^1.33*nv/(60*vol^0.7));
1	+++++	if d[0]>150 then d[0]:=150;
4	run	if d[0]<5 then d[0]:=5; d[0];
	System Variable	

```

--
+++++
nv
gera número de volumes
if identif[tag] == 1 then lognormal(890,
640) else expon(430);
--
+++++
oficina
determina o tempo de oficina d
if random() > 0.7 then 0 else expon(90);
--
+++++
process_1
tempo de processamento
if var < 1 then var := 1;
d[1]:=
0.012*var^0.33*pu^1.04*nv^0.86 +
0.3*(0.34*2*var^0.07*nv^0.53) +
0.7*(0.34*1*var^0.07*nv^0.53); if d[1]
> 540 then d[1]:= 540; d[1];
--
+++++
process_2
tempo de processamento
if var < 1 then var := 1;
d[1]:=
0.012*var^0.33*pu^1.04*nv^0.86 +
0.3*(0.34*2*var^0.07*nv^0.53) +
0.7*(0.34*1*var^0.07*nv^0.53); if d[1]
> 540 then d[1]:= 540; d[1];
--
+++++
process_3
tempo de processamento
if var < 1 then var := 1;
d[1]:=
0.75*(0.012*var^0.33*pu^1.04*nv^0.8
6 +
0.3*(0.34*2*var^0.07*nv^0.53) +
0.7*(0.34*1*var^0.07*nv^0.53))+
0.25*1.5*(0.363*vol^0.81*nv);
if d[1]>430 then d[1]:=430; d[1];
--
+++++
tempo
tempo em horas
(clock-1440*i)/60;
--
+++++
*****
0.000000
3
0
0
1.000000
1
1000.000000
cheg_ve[0] :=truncate(lognormal(5.1));
cheg_ve[1] :=truncate(lognormal(8.1));
cheg_ve[2]
:=truncate(lognormal(16.1));
cheg_ve[3]
:=truncate(lognormal(18.1));
a[1,0]:=cheg_ve[2]; a[2,0]:= 5;
equip[0]:=4; equip[1]:=2;
c[1] := a[2,0] + cheg_ve[2] +
cheg_ve[3] + cheg_ve[0] + cheg_ve[1];
--
+++++
0.000000
3
0
0
0
0.000000
3
0
0
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]+=4; {5h}
--
+++++
330.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]+=5; {5h30'}
--
+++++
360.000000
3
0
1
1440.000000
1
5760.000000
c[6]+=truncate(0.18*c[5]);
c[5]-=c[6];
--
+++++
450.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]+= 2; {7h30'}
--
+++++
465.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
{equip[0]+=1; 7h45'}
--
+++++
540.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
c[6]+=truncate(0.11*c[5]);
c[5]-=c[6];
--
+++++
540.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
hd[1]:=290/(0.49*c[7]); if hd[1]>290
then hd[1]:=290; c[8]+=0 else
c[8]+=truncate(0.49*c[7]); c[7]-
=c[8];
--
+++++
300.000000
3
0
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]+=4; {5h}
--
+++++
330.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
hd[1]:=610/(0.59*c[7]); if hd[1]>610 then
hd[1]:=610; c[8]+=0 else
c[8]+=truncate(0.59*c[7]); c[7]-=c[8];

```

```

--
+++++
588.000000
3
0
0
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=4; {9h48'}
--
+++++
660.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=5; {11h}
--
+++++
690.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=4; {11h30'}
--
+++++
720.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=5; {12h}
--
+++++
720.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=2; {equip[0]=1; 12h}
--
+++++
780.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=2; {13h}
--
+++++
839.000000
3
0
1
120.000000
1
7200.000000
b[19]:=patio+uso[6]+uso[8]+fila[3]+fil
a[12]+fila[13]+

```

```

fila[14]+fila[16];
--
+++++
840.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=6; {14h}
equip[1]=5;
--
+++++
840.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
c[6]+=truncate(0.24*c[5]);
c[5]=c[6];
--
+++++
888.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=5; {14h18'}
--
+++++
900.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
c[6]+=truncate(0.17*c[5]);
c[5]=c[6];
--
+++++
990.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
c[6]+=truncate(0.38*c[5]);
c[5]=c[6];
--
+++++
1005.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=2; {16h45'}
--
+++++
1020.000000
3
0
1

```

```

1440.000000
1
7200.000000
c[6]+=truncate(0.63*c[5]);
c[5]=c[6];
--
+++++
1020.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=10; {17h}
--
+++++
1050.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
c[6]+=truncate(1.0*c[5]);
c[5]=c[6];
--
+++++
1080.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=10; {18h}
--
+++++
1140.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
{19h}
--
+++++
1150.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
hd[1]:=100/(0.85*c[7]); if hd[1]>100 then
hd[1]:=100, c[8]+=0 else
c[8]+=truncate(0.85*c[7]); c[7]=c[8];
--
+++++
1200.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
{20h}
--
+++++
1250.000000

```

```

3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
b[18]:=rect(94,0);
hd[1]:=b[18]/(c[7]); if hd[1]>b[18]
then hd[1]:=b[18], c[8]+=0 else
c[8]+=truncate(c[7]); c[7]=c[8];
--
+++++
1260.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
{21h}
--
+++++
1320.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
{22h}
--
+++++
1380.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=6; {23h}
--
+++++
1410.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=4; {23h30'}
--
+++++
1439.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[1]=5; {24h}
{pause();}
--
+++++
1440.000000
3
0
1
1440.000000
1
5760.000000
i+=1;

```

```

cheg_ve[0]
:=truncate(lognormal(16,2));
cheg_ve[1]
:=truncate(lognormal(20,2));
coleta[3]:=maximum(3,truncate(logn
ormal(3,1)));
coleta[4]:=maximum(4,truncate(logn
ormal(4,1)));
coleta[8]:=maximum(1,truncate(expo
n(1)));
c[1] += cheg_ve[0] + cheg_ve[1];
c[2]:=0; c[3]:=0; c[11]:=0; c[12]:=0;
c[13]:=0; c[14]:=0;
c[15]:=0; c[16]:=0; c[17]:=0;
c[19]:=0; c[20]:=0; c[21]:=0;
c[22]:=0; c[23]:=0; c[24]:=0;
c[25]:=0; c[26]:=0; c[27]:=0;
coleta[0]:=0; coleta[1]:=0;
coleta[2]:=0; coleta[5]:=0;
coleta[6]:=0; coleta[7]:=0; c[28]:=0;
c[5]:=0; c[7]:=0;
atraso[0]:=0; atraso[1]:=0;
atraso[2]:=0; atraso[3]:=0;
atraso[4]:=0; atraso[5]:=0;
atraso[6]:=0; c[39]:=0; c[40]:=0;
c[41]:=0; c[42]:=0; start(1,c[4]+1);
--
+++++
1890.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0] +=4; {7h30'}
--
+++++
2160.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=4; {12h}
--
+++++
2220.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0] +=4; {13h}
--
+++++
2478.000000
3
0
1
1440.000000
1
7200.000000
equip[0]=4; {17h18'}
--
+++++
7200.000000
3
0

```

```

0
1.000000
1
1000.000000
i+=1;
halt();
--
+++++
*****
6
840.000000
1
120.000000
1
7200.000000
AC0
run x[0] x[1]
--
+++++
*****

```