

André Ricardo Hadlich

**PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA ESTUDO DE  
MACROLOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO  
COM USO DO MODELO DE P-MEDIANAS ADAPTADO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Amir Mattar Valente.

Florianópolis  
2011

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Hadlich, André Ricardo

Procedimento metodológico para estudo de localização

Florianópolis : UFSC, 1981. 112 p.

Florianópolis (Brasil) : Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. II. Centro de Distribuição. 3. p. 4. p. 5. p. 6. p. 7. p. 8. p. 9. p. 10. p. 11. p. 12. p. 13. p. 14. p. 15. p. 16. p. 17. p. 18. p. 19. p. 20. p. 21. p. 22. p. 23. p. 24. p. 25. p. 26. p. 27. p. 28. p. 29. p. 30. p. 31. p. 32. p. 33. p. 34. p. 35. p. 36. p. 37. p. 38. p. 39. p. 40. p. 41. p. 42. p. 43. p. 44. p. 45. p. 46. p. 47. p. 48. p. 49. p. 50. p. 51. p. 52. p. 53. p. 54. p. 55. p. 56. p. 57. p. 58. p. 59. p. 60. p. 61. p. 62. p. 63. p. 64. p. 65. p. 66. p. 67. p. 68. p. 69. p. 70. p. 71. p. 72. p. 73. p. 74. p. 75. p. 76. p. 77. p. 78. p. 79. p. 80. p. 81. p. 82. p. 83. p. 84. p. 85. p. 86. p. 87. p. 88. p. 89. p. 90. p. 91. p. 92. p. 93. p. 94. p. 95. p. 96. p. 97. p. 98. p. 99. p. 100. p. 101. p. 102. p. 103. p. 104. p. 105. p. 106. p. 107. p. 108. p. 109. p. 110. p. 111. p. 112. p.

André Ricardo Hadlich

**PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA ESTUDO DE  
MACROLOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO  
COM USO DO MODELO DE P-MEDIANAS ADAPTADO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 21 de setembro de 2011.

---

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Amir Mattar Valente, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Antônio Artur de Souza, Dr.  
Universidade Federal de Minas  
Gerais

---

Prof. Marcos Noronha, Dr.  
Universidade Federal de Santa  
Catarina

---

Daniela Nascimento, Dr<sup>a</sup>.  
Consultora

---

Prof. Jucilei Cordini, Dr.  
Universidade Federal de Santa  
Catarina



Dedico este trabalho à minha família  
por sempre me incentivar a correr  
atrás dos meus sonhos.



## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu Orientador, Amir Mattar Valente, que sempre acreditou em minha capacidade e me incentivou ao longo do trabalho.

Aos meus pais, Oridades Hadlich e Marly Luiza Valle Hadlich, e irmão, Luiz Hamilton Hadlich, pelo amor e carinho incondicionais.

Aos meus tios, Daniel Alberto Cardozo e Bernadethe Valle Cardozo, pelo incentivo e apoio desde o início da minha graduação.

Aos amigos Gabriela Cristofoline e Carlos Augusto Pescador, pelos momentos compartilhados.

Ao programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da UFSC.

A todos os amigos do Laboratório de Transportes e Logística que me ajudaram direta ou indiretamente, em especial: Antônio Venicius dos Santos, Daniele Sehn, Fabiano Giaccobo, Fernanda Miranda, Leandro Franz Liz, Livia Segadilha e Sérgio Zarth Junior.

Agradeço à empresa que cedeu os dados para pudesse ser realizado o estudo de caso.

À Agência Nacional de Transportes Terrestres, que autorizou o uso do SisLog para uso neste trabalho.





Para calar a boca: rícino  
Pra lavar a roupa: omo  
Para viagem longa: jato  
Para difíceis contas: calculadora  
Para o pneu na lona: jacaré  
Para a pantalona: nesga  
Para pular a onda: litoral  
Para lápis ter ponta: apontador  
Para o Pará e o Amazonas: látex  
Para parar na Pamplona: Assis  
Para trazer à tona: homem-rã  
Para a melhor azeitona: Ibéria  
Para o presente da noiva: marzipã  
Para Adidas: o Conga nacional  
Para o outono, a folha: exclusão  
Para embaixo da sombra: guarda-sol  
Para todas as coisas: dicionário  
Para que fiquem prontas: paciência  
Para dormir a fronha: madrigal  
Para brincar na gangorra: dois [...]

(Nando Reis)



## RESUMO

Atualmente, as empresas necessitam, cada vez mais, agilizar sua cadeia de suprimentos e distribuição de forma que seus produtos cheguem ao mercado consumidor cada vez mais rápido, de forma íntegra e, principalmente, com baixos custos. É nesse cenário que os Centros de Distribuição têm desempenhado um papel fundamental no que se refere ao aumento da eficiência do processo de distribuição. Dessa forma, a escolha da localização desse ponto de apoio à logística é crucial no processo de tomada de decisão empresarial. Nesse sentido, partindo-se de dados de vendas da empresa atrelados a um modelo de alocação de viagens georreferenciado e a um modelo de p-medianas adaptado, é possível elaborar um procedimento metodológico que auxilia gestores na definição da macrolocalização do Centro de Distribuição. Esta dissertação tem como foco definir esse processo metodológico e adaptar o modelo de p-medianas para esse fim.

**Palavras Chave:** Centro de Distribuição. p-medianas. Macrolocalização.



## ABSTRACT

Currently, companies need more and more to streamline their supply and distribution chains, so their products can quickly reach the consumer market -- intact and, mainly, at a low cost. In this scenario, the distribution centers have been playing a significant role in order to bring efficiency to the distribution process. Thus, choosing the location of that point of logistics support is crucial in the process of business decision making. In this sense, starting from sales data of the company coupled with a georeferenced travel allocation model and an adapted p-median model, it is possible to develop a methodological procedure that helps decision makers in defining the macrolocalization of the distribution center. This dissertation focuses on defining this methodological procedure and adapting the p-median model for this purpose.

**Keywords:** Distribution Centers. P-median. Macrolocalization.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa Rodoviário do Brasil com rodovias federais, estaduais e não pavimentadas .....	36
Figura 2 - Classificação quanto às condições gerais das rodovias .....	37
Figura 3 – Paralelismo entre Distribuição Física e Canais de Distribuição .....	47
Figura 4 - Centro de distribuição numa cadeia de suprimentos .....	49
Figura 5 - Relação geral entre nível de serviço da distribuição física e vendas.....	51
Figura 6 – Compensação generalizada entre receitas e custos para diversos níveis de serviço logístico .....	52
Figura 7 – Roteiro para o estudo de localização industrial.....	53
Figura 8 – Pontos de consumo e demandas em Santa Catarina.....	68
Figura 9 – Caminhos percorridos .....	69
Figura 10 - Fluxograma da proposta de sequência metodológica .....	86
Figura 11 - Localização da empresa em estudo.....	87
Figura 12 - Zoneamento e centroides do estudo.....	91
Figura 13 – Distribuição das demandas na área de estudo .....	92
Figura 14 - Rede viária utilizada no estudo de caso.....	100
Figura 15 - Possíveis rotas utilizadas na distribuição atual .....	102
Figura 16 - Tempos de distribuição (h) .....	103
Figura 17 - Custos unitários de distribuição (R\$/t) .....	104
Figura 18 - Localização do novo CD .....	106
Figura 19 - Possíveis rotas utilizadas na distribuição com base em um CD em Contagem (MG).....	107
Figura 20 - Tempos de distribuição para um CD em Contagem (h) .....	108
Figura 21 - Custos unitários de distribuição para um CD em Contagem (R\$/t) .....	109
Figura 22 - Localização do novo CD considerando um existente em Joinville.....	110
Figura 23 - Possíveis rotas utilizadas na distribuição com base em dois CD's .....	111
Figura 24 - Tempos de distribuição para dois CD's (h) .....	112
Figura 25 - Custos unitários de distribuição para dois CD's (R\$/t) .....	113
Figura 26 - Área de atendimento dos CD's.....	117





## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Divisão da Matriz Modal .....	33
Gráfico 2 - Representação da utilização das matrizes de transporte atualmente e futuramente .....	34
Gráfico 3 - Participação dos setores de TRC no PIB em bilhões de reais .....	38
Gráfico 4 - Evolução anual de roubos/furtos nas rodovias brasileiras .....	41
Gráfico 5 - Índice de mortes em estradas em 1996 .....	41
Gráfico 6 - Frota de Veículos por tipo de transportador.....	42
Gráfico 7- Fretes .....	95
Gráfico 8 - Fretes calculados para a empresa Alpha .....	97
Gráfico 9- Fretes sem dados espúrios identificados no método dos quartis.....	98
Gráfico 10 - Valor final de fretes .....	99
Gráfico 11- Resultados totais .....	115
Gráfico 12 - Resultados médios .....	115



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Participação do setor de transportes na economia brasileira .....	33
Tabela 2 - Ordenação dos modais de transporte de carga por grau de utilização .....	33
Tabela 3 - Matriz de distâncias (km) .....	69
Tabela 4 - Matriz de distâncias para escolha de um CD (km) .....	70
Tabela 5 - Matriz de fretes unitários (R\$/t) .....	70
Tabela 6 - Matriz de demandas (t) .....	71
Tabela 7 - Matriz custo x fluxo para escolha de um CD (R\$) .....	71
Tabela 8 - Exemplo de cálculo para dois CD's (R\$) .....	73
Tabela 9 - Resultados das combinações possíveis .....	73
Tabela 10 - Detalhes da melhor opção (R\$) .....	74
Tabela 11 - Opções para localização de dois CD's com um existente em Lages .....	75
Tabela 12 - Matriz para escolha de um CD com custo de abastecimento ....	77
Tabela 13 - Exemplo de cálculo do custo de abastecimento pra escolha de 2 CDs .....	78
Tabela 14 - Cálculos para escolha de dois CDs com custo de abastecimento .....	78
Tabela 15 - Tabela de dados de frete para transporte de soja .....	94
Tabela 16 - Fretes calculados (R\$/t x km) .....	99
Tabela 17 – Distâncias, tempos e custos de transporte atuais .....	101
Tabela 18 – Distâncias, tempos e custos de transporte para um CD em Contagem .....	108
Tabela 19 - Distâncias, tempos e custos de transporte para dois CD's .....	111
Tabela 20 - Resultados totais .....	114
Tabela 21 - Resultados médios .....	114



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>25</b>
1.1	OBJETIVO GERAL.....	26
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	26
1.3	JUSTIFICATIVA .....	26
1.4	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	28
<b>2</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL: TRANSPORTES E LOGÍSTICA</b> .....	<b>29</b>
2.1	TRANSPORTES .....	29
2.1.1	Tipos de modal.....	30
2.1.2	Malha rodoviária.....	35
2.1.3	Infraestrutura das rodovias brasileiras .....	35
2.1.4	Setor de transporte rodoviário de cargas .....	38
2.1.5	Custos no transporte rodoviário de cargas .....	39
2.1.6	Relação entre as más condições das rodovias brasileiras e os custos.....	40
2.1.7	Tipos de veículos e suas capacidades .....	42
2.2	LOGÍSTICA.....	43
2.2.1	Resumo histórico .....	44
2.2.2	A Logística hoje .....	45
2.2.3	Cadeia de distribuição.....	46
2.2.4	Conceito de centro de distribuição.....	48
2.2.5	Just in time .....	49
2.2.6	Nível de serviço .....	50
<b>3</b>	<b>TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS</b> .....	<b>53</b>
3.1	METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DE ESTUDOS DE LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL.....	53
3.2	PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO.....	55
3.2.1	P-medianas .....	56
3.2.2	P-centros.....	56
3.2.3	Localização de unidade de capacidade ilimitada .....	57
3.2.4	Problemas de designação quadrática.....	57
3.3	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GERENCIAL (SIG) .....	58
3.3.1	Sistemas computacionais para logística.....	59
3.4	GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS).....	59
3.5	SISTEMA LOGÍSTICO (SISLOG) .....	61
3.5.1	Funcionalidades .....	61
3.5.1.1	Cadeia logística.....	61
3.5.1.2	Custos logísticos .....	62
3.5.1.3	Caminho mínimo .....	62

3.5.1.4	Área de influência .....	62
3.5.1.5	Alimentação do modelo.....	62
<b>3.5.2</b>	<b>Calibração do modelo .....</b>	<b>62</b>
<b>4</b>	<b>MODELO DE P-MEDIANAS.....</b>	<b>65</b>
4.1	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO DE P-MEDIANAS.....	65
4.2	O MODELO CLÁSSICO.....	67
4.3	P-MEDIANAS COM CD EXISTENTE .....	74
4.4	P-MEDIANAS COM CUSTO DE ABASTECIMENTO .....	76
<b>5</b>	<b>PROPOSTA DE SEQUÊNCIA METODOLÓGICA PARA ESTUDOS DE LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO.....</b>	<b>81</b>
5.1	DISPOSIÇÕES GERAIS .....	81
5.2	SEQUÊNCIA METODOLÓGICA .....	81
<b>6</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>87</b>
6.1	LEVANTAMENTO DE DADOS.....	87
<b>6.1.1</b>	<b>Caracterização do problema .....</b>	<b>88</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Premissas.....</b>	<b>89</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Dados disponíveis .....</b>	<b>90</b>
6.2	ZONEAMENTO .....	90
6.3	ANÁLISE DA DEMANDA ATUAL .....	91
6.4	PROJEÇÃO DA DEMANDA .....	92
6.5	CUSTOS LOGÍSTICOS .....	93
6.6	MONTAGEM DA REDE .....	99
6.7	NÍVEL DE SERVIÇO .....	101
6.8	CENÁRIOS DE OFERTA .....	104
6.9	MATRIZ ORIGEM – DESTINO.....	104
6.10	SIMULAÇÕES .....	105
<b>6.10.1</b>	<b>Simulação de um CD.....</b>	<b>105</b>
<b>6.10.2</b>	<b>Simulação com um CD existente.....</b>	<b>109</b>
<b>6.10.3</b>	<b>Simulação com um CD existente e custo de abastecimento .....</b>	<b>113</b>
6.11	ANÁLISE DE RESULTADOS .....	114
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>119</b>
<b>8</b>	<b>INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>121</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>123</b>
	<b>ANEXO A - EXEMPLOS DE PROBLEMAS DE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO .....</b>	<b>129</b>
A.1	PROBLEMA DE P-MEDIANAS .....	129
A.2	PROBLEMA DE P-CENTROS .....	131

A.3 LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE CAPACIDADE ILIMITADA .....	133
A.4 PROBLEMAS DE DESIGNAÇÃO QUADRÁTICA .....	134





## 1 INTRODUÇÃO

Para completar o ciclo produção-venda-consumo, as empresas necessitam que seus produtos sejam colocados em um local estratégico para atendimento ao público, considerando as reais necessidades da empresa relacionadas a: tempo de entrega, qualidade dos serviços prestados, integridade e quantidade do produto. Esse conjunto de funções, também chamado *distribuição* - que durante muito tempo foi relegado ao segundo plano no processo de decisões estratégicas nas empresas -, tem conquistado cada vez mais destaque em virtude do crescimento da competitividade inter-empresarial.

Segundo Taboada (2002), a logística no Brasil tornou-se importante na década de 1990, quando foi entendida como um recurso para as empresas obterem ganhos operando com baixos custos, assim diferenciando-se dos concorrentes. O autor ressalta que isso ocorreu porque a logística passou a ser tratada como uma forma de agregar valor e não como uma nova fonte de geração de custo. E nesse sentido, a empresa somente agregará mais valor se realizar o gerenciamento logístico sob a ótica da cadeia de negócios. É justamente esse o maior entrave que a logística apresenta para a sua completa e extensa difusão nas empresas brasileiras: a falta de uma cultura de trabalho com enfoque integral, ou seja, que englobe desde a compra de insumos até a entrega da mercadoria aos clientes.

A complexidade da economia moderna, caracterizada pelo rápido avanço da tecnologia da informação e pela necessidade crescente de diminuir o *gap*<sup>1</sup> entre a compra e a entrega dos bens e serviços, vem trazendo desafios às organizações empresariais brasileiras (FARAH Jr., 2002).

Ainda de acordo com Farah Jr. (2002), esse desafio é mais evidente na área de distribuição dos produtos. Os esforços para realizar uma operação de distribuição eficiente e com menor custo - compartilhando a redução de custos, eliminando pontos de estrangulamento, entre outros meios - são decorrentes do trabalho conjunto de todas as empresas por onde a mercadoria transacionou.

Assim, pode-se ver o Centro de Distribuição (CD) como um importante aliado das empresas para auxiliar sua logística. No entanto, a decisão final acerca da localização desse centro é resultado de inúmeros fatores e deve ser tomada com base num plano diretor, atentando para que todas as opções sejam verificadas. Isso pode ser feito através da

---

<sup>1</sup> Expressão inglesa: brecha, em português. No contexto tem o sentido de intervalo de tempo.

utilização de um operador logístico, da terceirização de serviços de logística, ou do investimento em um CD próprio (ONDE..., 1997).

Com o desenvolvimento da Pesquisa Operacional e, posteriormente, dos sistemas computacionais, foram sendo concebidos diferentes modelos que visavam subsidiar a decisão de localização industrial e, de maneira mais específica, de Centros de Distribuição. Esses modelos levam em conta basicamente a localização dos fornecedores e dos consumidores, as características do(s) produto(s) a ser(em) distribuído(s), o modal adotado no transporte desse(s) produto(s), dentre outras informações.

De maneira sucinta, este trabalho pretende apresentar aos tomadores de decisão, gestores, uma sequência metodológica simples, possível de se utilizar com dados existentes nas empresas, e que auxilie na macrolocalização de CD's.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho tem por objetivo geral propor uma sequência metodológica para estudos de macrolocalização de centros de distribuição utilizando o modelo de p-medianas, com algumas modificações e com auxílio de um simulador logístico georreferenciado, o SisLog. Além disso, a sequência metodológica proposta será testada em um estudo de caso.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo geral acima mencionado pode ser desmembrado nos seguintes itens:

- conceber uma sequência metodológica para estudo de localização de um CD;
- verificar qual a melhor forma de utilizar o modelo p-medianas para auxiliar no problema de localização de CD's e fazer as adaptações necessárias; e
- realizar um estudo de caso para uma empresa da região norte do estado de Santa Catarina, na qual se pretendem implementar CD's adicionais.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

As mudanças ocorridas no ambiente de negócios brasileiros na década de 1990 impuseram novos paradigmas para o gerenciamento empresarial. A abertura da economia, a sua estabilização e a presença cada vez mais marcante de negócios com abrangência global exigiram a

substituição do antigo modelo de gerenciamento empresarial, baseado na produtividade, por um novo modelo, baseado na competitividade (TABOADA, 2002).

Ainda segundo Taboada (2002), a logística apresenta-se hoje como uma formidável ferramenta para a criação de vantagens competitivas nas organizações. Os ambientes globalizados precisam de trocas eficientes e eficazes de produtos e mercadorias, que circulem por canais internacionais e regionais bem afinados.

Os altos custos de distribuição são um contraponto à necessidade cada vez maior de se ter as mercadorias na hora, no lugar e na quantidade certas. As empresas, diante disso, devem enfrentar um dilema: minimizar os custos de distribuição, ou atender o cliente da melhor forma, elevando o nível de serviço? Esta foi a principal motivação para a realização deste estudo: encontrar o ponto em que se possa atender melhor os clientes garantindo um aumento mínimo nos custos de distribuição das mercadorias.

Os exemplos de duas grandes empresas mostram que isso é possível e incentivam a realização deste estudo: a Caterpillar (maior fabricante de máquinas agrícolas do mundo) e a Tigre S.A. Tubos e Conexões. Esses exemplos justificam a necessidade de estudos na área de logística e a relevância destes, em termos financeiros, para as empresas, além da melhoria na satisfação de seus clientes.

A Caterpillar, ao constatar que a Komatsu (sua grande concorrente japonesa) começava a ganhar expressividade no mercado americano, e ao perceber que não adiantaria tentar diferenciar-se pela qualidade dos produtos que fabricava ou pelos custos destes, optou por adotar uma estratégia baseada na logística: passou a oferecer aos seus clientes, em qualquer parte da união Americana, o serviço de reposição de peças avariadas em um prazo máximo de 48 horas - e a promessa, caso não cumprido o prazo, de entregar a peça sem custo ao cliente. O suporte dessa estratégia é um sistema logístico bem apurado em que se definiram: quantos depósitos são necessários; onde localizá-los; quais itens devem ser estocados neles e seus níveis de estoque; e quais sistemas de transportes são os mais apropriados para cada situação.

Por sua vez, em 1991, a Tigre S.A. Tubos e Conexões, sediada em Joinville, Santa Catarina (SC), utilizava 13 Centros de Distribuição localizados em 10 estados brasileiros a fim de distribuir seus produtos para todo o país. Com a utilização dos princípios logísticos, ela formulou e aplicou gradualmente uma estratégia logística de centralização dos seus estoques de produtos acabados, zelando por não afetar o nível de atendimento aos seus clientes. Foi assim que, já em

1996, realizava o atendimento de todos os seus clientes nacionais utilizando apenas três Centros de Distribuição, sediados em três estados. Essa centralização de estoques permitiu reduzir seus custos sem que deixasse de atender seus clientes. Isso pode ser comprovado pelo fato de que o faturamento da empresa aumentou aproximadamente 100%; o atendimento integral passou de 68% para 91%, e o prazo necessário para o atendimento diminuiu de 20 dias para 4,6 dias.

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O presente estudo restringe-se a propor uma sequência metodológica para estudos de macrolocalização de CD's, que será validada com um estudo de caso de uma empresa localizada na cidade de Joinville (SC). A área de atuação da empresa compreende todo o território nacional. Características do produto serão discutidas adiante, e o modal de transporte limitar-se-á ao rodoviário e ao hidroviário quando não houver outra possibilidade.

Para as simulações serão utilizados o sistema logístico SisLog e suas atuais funcionalidades, o modelo de p-mediana clássico e as adaptações que se fizerem necessárias. Os dados utilizados no estudo de caso serão os disponibilizados pela empresa, e dados públicos como os oriundos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

## 2 CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL: TRANSPORTES E LOGÍSTICA

Os itens que seguem ter por objetivo básico introduzir o assunto de transportes e logística, com ênfase no transporte rodoviário, foco deste trabalho. Ambos, transporte e logística, dão subsídio ao estudo de macrolocalização de um Centro de Distribuição e seu entendimento e conhecimento gerais são de suma importância para o estudo da cadeia logística onde os CD's se inserem.

### 2.1 TRANSPORTES

Os sistemas de transporte servem, prioritariamente, para a movimentação de cargas e/ou pessoas de um ponto a outro. Quando se fala puramente de transporte, sua história se confunde com a do próprio homem, uma vez que sempre houve a necessidade de transportar coisas e pessoas, mesmo que em escalas pequenas.

Segundo Rodrigues (2001), nos primórdios da humanidade o transporte era realizado pelo próprio homem; apenas depois alguns animais foram domesticados e começaram a ser usados para esse fim.

A evolução da humanidade trouxe com ela a intensificação do comércio e este, por sua vez, trouxe a necessidade de se transportar maiores volumes de carga. Essa nova realidade, aliada a recentes descobertas no campo científico, possibilitou a melhoria dos transportes, de modo que os animais passaram a puxar carros com maior capacidade e povos litorâneos passaram a construir embarcações rudimentares, como jangadas.

A partir de então as evoluções foram ocorrendo gradativamente, porém, pode-se dizer que houve um grande salto com a revolução industrial, com a invenção da máquina a vapor e com o uso intensivo do aço em substituição à madeira (RODRIGUES, 2001). A invenção do avião, no século XX, também foi decisiva para o setor de transportes.

No Brasil, o desenvolvimento de sistemas de transportes se iniciou com a colonização e com o intuito de auxiliar na ocupação da maior parte possível do território. Para isso, era necessário um sistema unificado, de implantação rápida e ao qual todos tivessem acesso - considerando que a implantação deveria ser barata dadas as dimensões continentais do país.

Somente na metade do século XIX é que foram implantadas as primeiras ferrovias, segundo Galvão (1996), e sua integração com redes fluviais era realizada para alcançar maior abrangência, uma vez que o

Brasil possui uma grande quantidade de rios. No entanto, essa idealização do uso do sistema não se confirmou.

Na década de 1950, com a instalação de grandes empresas automobilísticas e com a construção acelerada de rodovias, o Brasil vivia um grande crescimento de infraestrutura em todos os setores. O baixo preço de combustíveis fósseis voltou o foco do cenário de sistemas de transporte brasileiro mais uma vez para o rodoviarismo. Isso pode ser verificado até hoje através da disparidade da matriz modal de transportes, onde mais de 60% das cargas do país são movimentadas pelas rodovias (CNT, 2006).

Para Rodrigues (2001), o que possibilitou uma grande expansão rodoviária nas décadas de 70 e 80 foi o uso de recursos oriundos do Fundo Rodoviário Nacional (FRN), formado a partir de impostos cobrados sobre os combustíveis na implantação de infraestrutura rodoviária.

O ano de 1992 marcou o início do processo de desestatização do setor ferroviário (pelo Decreto n.º 473/92) a partir da inclusão da Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA) no Programa Nacional de Desestatização, com o intuito de aumentar a oferta e melhoria de serviços, segundo informa a ANTT.

### **2.1.1 Tipos de modal**

O objetivo dos sistemas de transporte não se alterou ao longo do tempo. Seu foco continua sendo o deslocamento de cargas e pessoas de um ponto a outro. Obviamente, novas variáveis, como a armazenagem, foram sendo agregadas. Para Bartholomeu (2006), cada produto tem suas especificidades de transporte e acondicionamento e requer um estudo específico sobre qual modal de transporte deve ser utilizado, observando sempre a qualidade dos serviços oferecidos, a velocidade, a consistência, a capacitação, a disponibilidade, a frequência, os custos, entre outros. Pires (2003) complementa essa afirmativa pautando que é importante analisar cuidadosamente o modal a ser utilizado para cada tipo de mercadoria, para que não ocorram danos e prejuízos posteriores.

Existem cinco tipos distintos de modais:

- rodoviário;
- ferroviário;
- aquaviário;
- aeroviário; e
- dutoviário.

Ballou (1995) descreve muito bem cada um desses modais e seu uso racional:

**Transporte Rodoviário:** serve para rotas de curta distância de produtos acabados ou semi-acabados (sic). A distância média por viagem é de cerca de 480 km para caminhões de transportadoras e de aproximadamente 280 km para veículos de frota própria. As vantagens inerentes do uso de caminhões são: o serviço porta a porta, frequência e disponibilidade dos serviços e sua velocidade.

**Transporte Ferroviário:** é um transportador lento de matérias-primas ou manufaturados de baixo valor para longas distâncias. A distância média da viagem é de 850 km, com velocidade média de 32 km/h. O transporte ferroviário oferece suas próprias vias, terminais e veículos, todos representando um grande investimento de capital. Isso significa que a maior parte do custo total de operações de uma ferrovia é fixa. Assim, as ferrovias devem ter alto volume de tráfego para absorver os custos fixos. Não é suficiente instalar e operar linhas férreas a não ser que haja um volume suficientemente grande de tráfego. Ferrovias oferecem diversos serviços especiais aos contratantes. Pode ser movimentação de granéis, como carvão, cereais, ou produtos refrigerados e automóveis, que requerem equipamentos especiais. Existem também serviços expressos, que garantem a entrega dentro de um prazo limitado; privilégios de parada, permitindo carga ou descarga parcial entre origem e destino.

**Transporte Aquaviário:** o serviço aquaviário tem sua abrangência limitada por diversas razões. As hidroviás exigem a combinação com outro modal, a menos que o usuário esteja localizado em suas margens. A disponibilidade e a confiabilidade quanto a granéis são fortemente influenciadas pelas condições meteorológicas. Os custos de danos e perdas em relação a outros modais são considerados baixos.

**Transporte Aeroviário:** a grande vantagem deste modal está na grande velocidade, principalmente para longas distâncias. A disponibilidade e a confiabilidade do serviço aéreo podem ser

consideradas boas sob condições normais de operação. A variabilidade do tempo de entrega é baixa em termos absolutos, apesar de o tráfego aéreo ser bastante sensível a falhas mecânicas, condições meteorológicas e congestionamentos. Comparando-se sua variabilidade com seu tempo médio de entrega, a situação se inverte, pois se apresenta então como um dos modais menos confiáveis. A capacidade do transporte aéreo sempre foi restrita pelas dimensões físicas dos porões de carga e pela capacidade de carga dos aviões. O transporte aéreo é vantajoso em termos de perdas e danos. Geralmente, precisa-se de menos embalagem de proteção no frete aeronáutico, desde que o trecho terrestre do mesmo não exponha a carga a danos e que o roubo no aeroporto não seja excessivo.

**Transporte Dutoviário:** este tipo de transporte oferece um rol muito limitado de serviços e capacidades. Normalmente, petróleo bruto e derivado são os principais produtos que têm movimentação economicamente viável por dutos. É bastante lenta, de aproximadamente 6,5 km/h, em contrapartida opera 24 horas por dia e sete dias por semana, obtendo uma boa velocidade efetiva. Com relação ao tempo de trânsito, o transporte dutoviário é o mais confiável de todos, pois existem poucas interrupções para causar variabilidade nos tempos de entrega. Fatores meteorológicos não são significativos e bombas são equipamentos confiáveis. Além disso, a disponibilidade dos dutos é limitada apenas por seu emprego por outros usuários.

Boa parte da economia de um país gira em torno do setor de transportes, e no Brasil não é diferente. O sistema de transporte no Brasil tem significativa importância para o setor econômico e sua utilização é imprescindível devido ao vasto território nacional. COPPEAD e CNT [200-?] comprovam isso através de uma tabela, que pode ser vista a seguir.



Tabela 1 - Participação do setor de transportes na economia brasileira

<b>Participação do Setor de Transportes na Economia Brasileira</b>	
Valor adicionado pelo setor de transportes no PIB (%)	4,40%
Valor adicionado pelo setor de transportes no PIB (R\$)	42 bilhões
Empregos diretos gerados	1,2 milhões
Total de carga movimentada por ano (TKU)	746 bilhões

Fonte: Adaptada de COPPEAD e CNT [200-?].

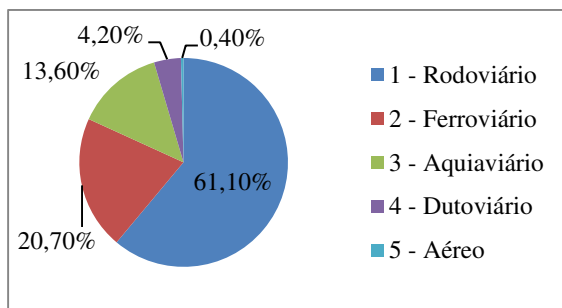
Conforme citado anteriormente, mais de 60% do transporte de cargas no Brasil é feito através do modal rodoviário, fato que desequilibra a matriz modal do país. Os dados que seguem (Tabela 2 e Gráfico 1) mostram o uso de cada um dos modais em ordem decrescente.

Tabela 2 - Ordenação dos modais de transporte de carga por grau de utilização

<b>Matriz Transporte de Cargas</b>	<b>Utilização</b>
1 - Rodoviário	61,10%
2 - Ferroviário	20,70%
3 - Aquaviário	13,60%
4 - Dutoviário	4,20%
5 - Aéreo	0,40%

Fonte: Adaptada de CNT.

Gráfico 1 - Divisão da Matriz Modal



Fonte: Adaptado de CNT.

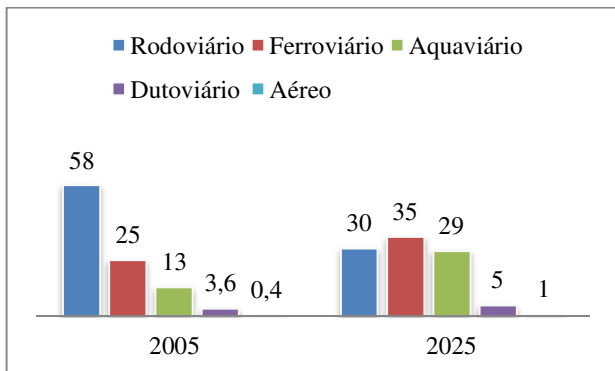
Acredita-se que o maior equilíbrio na distribuição dos modais rodo, ferro e hidroviário pode otimizar e racionalizar os recursos de infraestrutura e, por consequência, os custos nos setores de transporte. Este é um dos objetivos do Plano Nacional de Logística e Transportes (BRASIL, 2009): equilibrar o uso dos modais de transporte.

Para que isso ocorra, deve-se levar em consideração a necessidade de enfatizar ações e projetos de adequação e expansão dos sistemas ferroviário e aquaviário que permitam maior integração modal com o sistema rodoviário. Ainda assim, o sistema rodoviário teria que receber um concentrado esforço de restauração e manutenção, acompanhado de algumas obras de construção, pavimentação e ampliação de capacidade.

No que concerne ao sistema aquaviário, espera-se maior uso na navegação interior, de cabotagem e de longo curso, buscando melhor integração multimodal. No sistema ferroviário há que se destacar a inclusão de novas obras estruturantes em consonância com o Plano Nacional de Viação (PNV), que inclui cerca de 9.000 km de ferrovias de carga em bitola larga e cerca de 2.000 km em bitola métrica, além de projetos dos Trens de Alta Velocidade.

Segundo consta no PNLT (BRASIL, 2009), à medida que esses projetos e ações forem sendo concretizados (cerca de 15 a 20 anos), o cenário de distribuição dos modais de transporte será melhor distribuído, como é possível ver no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Representação da utilização das matrizes de transporte atualmente e futuramente



Fonte: Elaborado pelo autor.

## **2.1.2 Malha rodoviária**

O declínio constante dos demais modais de transporte frente ao rodoviário, no Brasil, não aconteceu ao acaso. Sempre se sonhou com um moderno setor rodoviário, o qual seria o meio mais rápido e eficiente para a economia, a integração social e a política do país. Tendo em vista que os outros modais não alcançariam tais objetivos, estes foram deixados de lado (GALVÃO, 1996). O grande incentivo que esse setor recebeu foi o que o tornou mais viável.

A solicitação do transporte de cargas surge com a necessidade que o consumidor tem de obter algum bem ou produto. Hoje a malha rodoviária tem grande importância na economia brasileira devido ao transporte de cargas. Segundo a CNT (2006), 61,8% do transporte de cargas é feito pelo setor rodoviário.

## **2.1.3 Infraestrutura das rodovias brasileiras**

O ambiente institucional e a situação fiscal favorável possibilitaram a vinculação de recursos orçamentários para a realização de significativos investimentos na construção e na pavimentação de estradas entre as décadas de 1950 e 1980. Foi nesse período que ocorreu a implantação da maioria das rodovias brasileiras (GALVÃO, 1996).

O Brasil, de acordo com dados da CNT (2006), apresenta 1.610.076 km de rodovia, e, destes, apenas 12%, ou seja, 196.094 km, são pavimentados. Desse total de rodovias pavimentadas, há 57.933 km de rodovias federais, 115.426 km de rodovias estaduais e 22.735 km de rodovias municipais. Comparado a outros países, o Brasil só perde, em extensão de rodovias, para os Estados Unidos, levando-se em consideração rodovias pavimentadas e não pavimentadas. A Figura 1 mostra a malha rodoviária brasileira.

Figura 1 - Mapa Rodoviário do Brasil com rodovias federais, estaduais e não pavimentadas



Fonte: CNT (2006).

Além de possuir uma baixa taxa de rodovias pavimentadas, como se pôde observar nos dados anteriores, o país ainda sofre com a precariedade de muitas dessas rodovias pela inexistência de projetos que englobem novas pavimentações e manutenção.

No ano de 2000, a malha pavimentada representava cerca de 9,5% do total da malha rodoviária. Feltrin (2000) conclui que, mesmo sendo um país considerado rodoviário em relação ao transporte de cargas, mais de 60% das cargas e acima de 90% de passageiros dependem de estradas impróprias e, portanto, ao mesmo tempo, o Brasil é um país rodoviário sem rodovias. O aumento de cerca de 2,5% não

altera essa afirmação de Feltrin (2000) e muito menos diminui a preocupação quanto à necessidade de investimentos.

No ano de 2004, a CNT realizou uma pesquisa rodoviária a respeito das condições das rodovias brasileiras quanto ao estado de conservação, levando em conta a qualidade do pavimento, a sinalização e a geometria das vias. Com esses dados, a pesquisa propôs-se a estabelecer a relação entre os impactos produzidos pelos estados da rodovia sobre a atividade de transportes de passageiros e cargas. O resultado da pesquisa pode ser analisado na Figura 2, a seguir:

Figura 2 - Classificação quanto às condições gerais das rodovias



Fonte: CNT (2004).

Se analisadas somente as malhas das regiões Sul e Sudeste, que apresentam as melhores condições, verifica-se que mesmo essas malhas apresentam condições desfavoráveis. Somente 25,3% das rodovias dessas regiões são classificadas em estado bom ou ótimo. Com isso, as rodovias brasileiras infligem preocupações e inseguranças nos motoristas em geral.

Gomes (2006) coloca dentre os principais problemas do modal rodoviário: a falta de regulamentação do setor; a falta de planejamento no transporte; a má conservação das estradas (considerado um dos maiores problemas enfrentados); a falta de segurança; roubos; acidentes e, recentemente, o aumento do preço do petróleo.

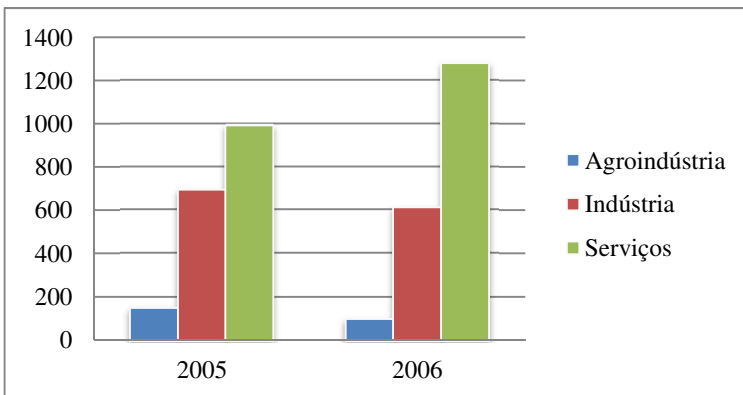
### 2.1.4 Setor de transporte rodoviário de cargas

O transporte rodoviário de cargas consiste em muito mais do que o simples deslocamento de matérias-primas ou produtos acabados de um ponto geográfico a outro. Por trás desse deslocamento existem inúmeras atividades envolvidas que são de caráter essencial para que ocorra o melhor deslocamento possível (GOMES, 2006), ficando a cargo da Logística definir a atuação do transporte de cargas em termos de modal, prazos, frotas e estoque.

O grande uso do modal rodoviário pelo setor de transporte de cargas se dá principalmente pelo fato de a malha rodoviária ter alguns aspectos positivos, como: flexibilidade, velocidade e disponibilidade. A flexibilidade é, talvez, sua principal vantagem, porque pelo transporte rodoviário é possível controlar rotas e rotinas de cargas mais facilmente, podendo modificá-las com facilidade, diferente de outro tipo de transporte. Em contrapartida, existe a baixa produtividade, a grande emissão de poluentes para a atmosfera, a ineficiência energética e os baixos índices de segurança (BARTHOLOMEU, 2006).

Conforme mencionado, o setor de transporte rodoviário é o que possui maior utilização para transporte de cargas e, com isso, tem parcela significativa na economia brasileira. Outros setores que têm grande participação no PIB podem ser vistos no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Participação dos setores de TRC no PIB em bilhões de reais



Fonte: Adaptado de IBGE.

## 2.1.5 Custos no transporte rodoviário de cargas

Percebe-se, mesmo com uma breve análise, que a situação atual da malha rodoviária brasileira contribui para boa parcela da perda de produção e, principalmente, para o aumento do custo operacional dos veículos. Segundo a CNT (2001), para se calcular os custos no transporte rodoviário é preciso primeiro classificar os tipos de cargas a serem transportadas, afinal, cada carga pode exigir tipos diferentes de equipamentos e serviços.

Existem muitas classificações de cargas, cada uma delas definida por diferentes autores, podendo ser: cargas itinerárias, cargas urgentes, cargas comuns, cargas industriais, grandes massas, contêineres, entre outras.

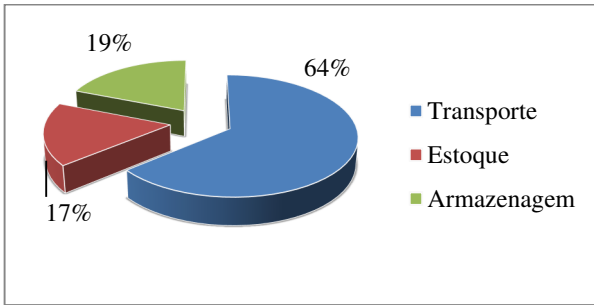
Para compor a tarifa de deslocamento das mercadorias é necessário utilizar três fatores (CNT, 2001):

- Frete-Peso: corresponde à remuneração pelo transporte entre a origem e o destino. É baseado em tonelada/quilômetro, ou seja, condiz com a distância percorrida e o peso transportado.
- Frete-Valor: é calculado proporcionalmente ao valor da mercadoria e da distância a ser transportada. Destina-se a cobrir parte das despesas com gerenciamento de riscos.
- Taxas: servem para remuneração de serviços adicionais necessários. A principal é a de Gerenciamento de Riscos (GRIS), que incide sobre o valor da mercadoria e tem como maior finalidade cobrir despesas com o gerenciamento.

Os custos operacionais, determinados através de estudos técnicos, se dividem em dois grupos: custos de transferência e despesas administrativas e de terminais. Os custos de transferência estão ligados diretamente à operação do veículo, e as despesas administrativas e de terminais estão ligadas à estrutura da empresa e operação dos terminais.

Os custos de transferência são classificados em custos fixos e variáveis. Os custos fixos são relativos às despesas operacionais do veículo e não dependem da distância que este percorre; já os custos variáveis são aqueles cujas despesas variam de acordo com a distância percorrida e inexistem quando o veículo se encontra parado (CNT, 2001). Os custos logísticos podem estar representados separadamente no setor de transporte, logística e armazenagem, conforme mostra o Gráfico 4.

Gráfico 4 - Distribuição dos custos logísticos no transporte rodoviário de cargas



Fonte: Panorama de Custos Logísticos no Brasil.

### 2.1.6 Relação entre as más condições das rodovias brasileiras e os custos

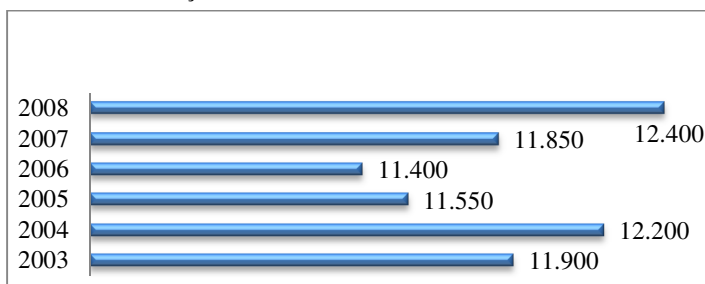
O estado de conservação da malha rodoviária atual exerce influência significativa nos custos e nos níveis de serviços prestados pelas empresas de transportes. Para Erhart e Palmeira (2006), há vários anos o setor vem sofrendo com os problemas existentes e, dessa forma, vem perdendo e/ou desperdiçando bilhões de reais devido a acidentes, roubos de cargas, ineficiências operacionais e energéticas.

A falta de investimento no setor de transportes tem trazido prejuízos às empresas, caminhoneiros autônomos e até mesmo ameaçado o crescimento econômico (BORIO, 2008). Pelo fato de o transporte rodoviário ter tanta importância, pois dele dependem todos os outros elos da economia, é que se precisa reverter essa situação. Percebe-se, claramente, que em alguns pontos as mudanças são urgentes e inadiáveis.

Segundo dados estatísticos da CNT referentes ao ano de 2008, os custos relativos a roubo e/ou a furto de cargas, que têm relação com a infraestrutura das rodovias, vêm aumentando significativamente, a julgar pelo número de ocorrências nas rodovias brasileiras. O Gráfico 5 mostra uma evolução anual dessa situação.



Gráfico 5 - Evolução anual de roubos/furtos nas rodovias brasileiras

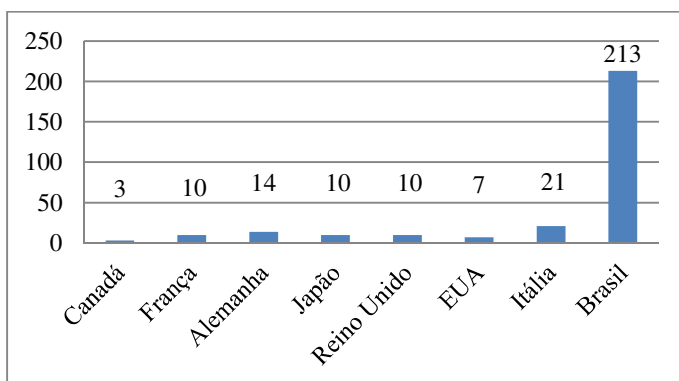


Fonte: CNT.

Segundo pesquisa anual de serviços 2006 do IBGE, a região Sudeste do país é a que retém a maior receita bruta de transporte rodoviário. Foram arrecadados R\$ 48.288.911,00 naquele ano, o que representa 58,44% do total da receita arrecadada no Brasil inteiro nesse setor. Além de ter o maior número de cargas transportadas, a região Sudeste detém também a liderança em roubo de cargas. De acordo com as seguradoras, do total dos roubos de carga no país a porcentagem de ocorrências nessa região é de 79,5%.

Outro ponto crítico com relação às más condições das rodovias brasileiras são os níveis de acidentes. No Gráfico 6 pode ser observada a relação de mortes nas estradas do Brasil e de outros países (COPEAD; CNT, [200-?]).

Gráfico 6 - Índice de mortes em estradas em 1996



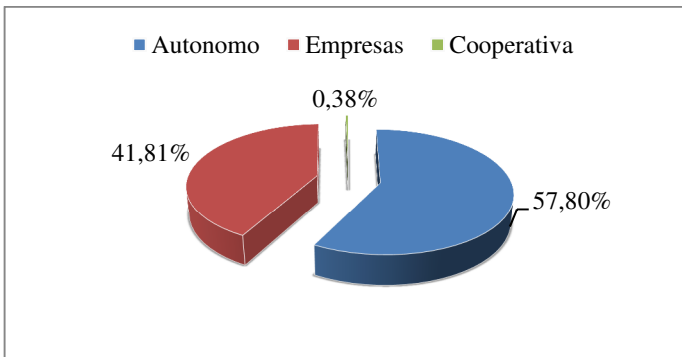
Fonte: Adaptado de COPEAD e CNT [200-?].

Do gráfico ilustrado anteriormente infere-se que o Brasil ainda se encontra muito atrás dos outros países em termos de segurança na infraestrutura viária e, por consequência, no condicionamento das rodovias.

### 2.1.7 Tipos de veículos e suas capacidades

A frota de veículos hoje ligada ao transporte de carga no Brasil, segundo dados da ANTT de 2008, corresponde a 1.784.249 unidades. Desse total, 57,80% está sendo operada por transportadores autônomos, 41,81% por empresas transportadoras de cargas e apenas 0,38% por cooperativas, conforme ilustra o Gráfico 7.

Gráfico 7 - Frota de veículos por tipo de transportador



Fonte: ANTT.

De acordo com Gomes (2006), a idade média dos veículos ligados ao transporte de cargas é muito alta e tal envelhecimento acarreta graves problemas, como insegurança, custo elevado de manutenção, poluição e consumo excessivo de combustível.

A imensa variedade de mercadorias (cargas) existentes atualmente nas rodovias fez com que os veículos se adaptassem a cada tipo de carga. Segundo Freitas (2004), basicamente pode-se classificar os veículos utilizados para cargas em: caminhões, carretas, chassis de transporte de contêiner, bi-trem e treminhões. Abaixo seguem as características de cada tipo:

- Caminhões: são veículos fixos, monoblocos, que podem ter ainda dois eixos e até três. Podem variar no tamanho e na capacidade de carga, tendo capacidade de até 23 toneladas.

- Carretas: são veículos articulados que possuem unidades de tração e carga separadas. Diferente dos caminhões, as carretas podem ter de três eixos até um número bem maior, dependendo da carga. Chama-se cavalo mecânico a parte responsável pela tração, e semirreboque a parte encarregada pela carga. Esses semirreboques podem ser do tipo fechado, aberto, cegonheiro, tanque e plataforma. Um conjunto de cinco eixos pode carregar até 30 toneladas, porém, essa capacidade pode aumentar conforme aumenta o número de eixos.
- Chassis: podem ser caracterizados como carretas de plataforma, responsáveis pelo transporte de contêineres de 20 a 40 pés. Podem também possuir guinchos que auxiliam na locomoção dos contêineres.
- Bi-Trem: também são veículos articulados, porém, especiais, compostos de dois semirreboques. Têm capacidade para até 40 toneladas de cargas.
- Treminhões: assim como os bi-trem, são veículos articulados especiais compostos de um semirreboque e de um reboque, com capacidade para até 50 toneladas.

## 2.2 LOGÍSTICA

De acordo com Herszkowicz (2000), a logística tem relação direta com o resultado econômico das empresas e sua gestão poderá ser o diferencial na garantia da viabilidade econômica da atividade empresarial.

O termo logística, consoante o *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa* (FERREIRA, 1995, p. 399), vem do francês *logistique* – parte da arte da guerra que trata do planejamento e da realização de: a) projeto e desenvolvimento, obtenção, armazenamento, transporte, distribuição, reparação, manutenção e evacuação de material (para fins administrativos ou operativos); b) recrutamento, incorporação, instrução e adestramento, designação, transporte, bem-estar, evacuação, hospitalização e desligamento pessoal.

Historiadores defendem que a palavra logística vem do antigo grego *logos*, que significa razão, cálculo, pensar e analisar. O *The Concise Oxford Dictionary for Current English* (1964, p. 717) define logística como: “A arte de mover e alojar tropas e suprimentos mantendo a frota.” Outra definição encontrada é: “O tempo relativo ao

posicionamento de recursos”. Como tal, logística geralmente se estende ao ramo de engenharia gerindo sistemas humanos ao invés de máquinas.

De acordo com Goebel (1996), logística é um conjunto de atividades que abrange a movimentação e armazenagem necessárias para que o fluxo de produtos seja facilitado. Esse fluxo pode ser de matéria-prima, produto acabado ou até mesmo de informações necessárias para colocar todos esses produtos em movimento, com o objetivo de alcançar níveis de serviço adequados aos clientes.

Ainda segundo Goebel (1996), a logística foi utilizada na área militar para otimizar o tempo e os recursos financeiros necessários para o deslocamento e abastecimento das tropas com armas, munição, alimentação, entre outros, durante todo o trajeto, minimizando a exposição ao inimigo.

O moderno conceito de logística tem, na sua base, o entendimento de que esta deve ser vista como um instrumento de *marketing*, uma ferramenta gerencial capaz de agregar valor através de serviços prestados aos clientes. Com essa visão sistêmica, a logística deve atender os níveis de serviços requeridos pelo cliente e estabelecidos pelo departamento de *marketing*, sempre visando o menor custo global. Atingindo esses dois objetivos, alcança-se a excelência logística, quebrando o paradigma segundo o qual melhores níveis de serviço implicam obrigatoriamente em custos elevados (FLEURY; WANKE; FIGUEIREDO, 2000).

## 2.2.1 Resumo histórico

Desde os tempos bíblicos, os líderes militares já se utilizavam da logística. As guerras eram longas e geralmente distantes, sendo necessários grandes e constantes deslocamentos de recursos. Para transportar as tropas, armamentos e carros de guerra pesados aos locais de combate, era preciso planejamento, organização e execução de tarefas logísticas que envolviam a definição de uma rota - nem sempre a mais curta, pois era necessário ter uma fonte de água potável próxima, transporte, armazenagem e distribuição de equipamentos e suprimentos.

Na antiga Grécia, Roma e no Império Bizantino, os militares com o título de *Logistikas* eram os responsáveis por garantir recursos e suprimentos para a guerra.

O termo logístico foi usado pelo exército francês pela primeira vez para definir o sistema de administração e distribuição de provisões às tropas. A palavra deriva do verbo *loger*, que significa alojar, prover, introduzir. Durante a Segunda Guerra Mundial, ainda restrito ao âmbito militar, o conceito passou a ter conotação extremamente importante para

os países aliados, como os europeus e os Estados Unidos. O planejamento logístico permitia a perfeita administração das remessas de alimentos, equipamentos e tropas às regiões conflagradas através da utilização correta dos meios de transporte (VANTINE, 1992).

Até o fim da Segunda Guerra Mundial, a logística esteve associada apenas às atividades militares. Após esse período, com o avanço tecnológico e a necessidade de suprir os locais destruídos pela guerra, a logística passou também a ser adotada pelas organizações e empresas civis (CHRISTOPHER, 1997).

### **2.2.2 A Logística hoje**

Para Novaes (2004), a logística é o setor que fornece condições práticas para realização das metas definidas pelo setor de *marketing*. É concebida como um modelo de análise e administração integrado, que permite otimizar o fluxo de materiais desde sua fonte primária até a colocação nos pontos de venda como produto final. É formada por quatro conceitos: valor de lugar, valor de tempo, valor de qualidade e valor de informação, os quais são descritos a seguir:

- O valor de lugar agrega atividades como o transporte e a armazenagem, tratando basicamente do deslocamento da mercadoria.
- O valor de tempo é relacionado ao cumprimento de prazos rígidos, como é o caso de jornais diários. A crescente competitividade implica na entrega dos produtos rigorosamente dentro dos prazos combinados, fato que torna o tempo um dos elementos logísticos mais críticos.
- O valor de qualidade se refere a como o produto deve chegar ao final da cadeia de suprimento, mantendo suas propriedades originais, como é o caso dos produtos refrigerados.
- O valor de informação é um conceito adicional e novo, que diz respeito ao rastreamento do produto ao longo da cadeia de distribuição.

Além de agregar esses valores, a logística procura eliminar do processo aquilo que implica em custos desnecessários e perda de tempo. Adotando a definição do *Council of Logistics Management* norte-americano, conceitua-se logística como:

[...] o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços

e informações associados, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor.

A cadeia de suprimentos é definida como um grupo de fornecedores que dá suporte a determinada empresa no processo de criação e desenvolvimento de seu produto. A gestão da cadeia de suprimentos (*Supply Chain Management*) passou a ser a pedra fundamental para a sobrevivência das empresas no mundo globalizado, pois as torna mesmas mais competitivas em relação a seus concorrentes, uma vez que torna-se possível fornecer ao mercado produtos mais atrativos a preços razoáveis e com prazos reduzidos (NOVAES, 2004).

Já a cadeia de distribuição diz respeito aos agentes envolvidos no fluxo da mercadoria desde o produtor até o consumidor final. Deve maximizar o atendimento ao cliente, proporcionando o nível de serviço adequado, minimizando custos (CHING, 1999).

Cabe ressaltar que os investimentos realizados no campo da logística são de retorno a médio e longo prazo, já que as soluções não são de fácil implantação e demandam tempo.

Diante de tais definições, é possível observar que a logística desempenha importante papel na estratégia de desenvolvimento das empresas, seja na cadeia de suprimentos ou na cadeia de distribuição.

### **2.2.3 Cadeia de distribuição**

Entende-se por cadeia de distribuição toda a logística necessária para que o produto possa ir de sua origem até o seu destino, do fabricante ao cliente. Nesse caso, o mais importante é um correto gerenciamento dessa cadeia para que todos os envolvidos no processo consigam visualizar a importância de sua função e para que o objetivo de entregar o produto com baixo custo, intacto e com rapidez, seja mantido (NOVAES, 2004).

De acordo com Silva (2006), para que as redes de distribuição se tornem mais eficientes na satisfação das exigências do usuário final, um alto nível de cooperação entre os agentes é necessário. A troca de informações entre os integrantes da rede faz com que a demanda real oriente a manufatura e o fornecimento, fazendo com que se produza o produto certo na hora certa.

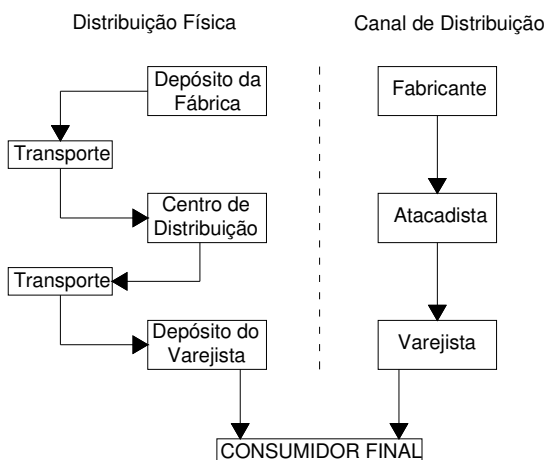
Segundo Bowesox (2001 apud SILVA, 2006), o canal de distribuição pode ser definido como um grupo de entidades interessadas que assume a propriedade de produtos ou viabilizam a sua troca durante o processo de comercialização, do fornecedor até o comprador final.

Para que se caracterize um canal de distribuição, é necessário que os membros que atuam nesse sistema mantenham uma relação de interdependência.

Complementando essa definição, a *American Marketing Association* define um canal de distribuição como uma estrutura de unidades organizacionais da empresa e agentes e firmas comerciais fora dela, por meio das quais, mercadorias, produtos ou serviços são comercializados.

Para Novaes (2001), há uma correlação estreita entre as atividades que constituem a distribuição física de produtos e os canais de distribuição. As atividades logísticas relacionadas à distribuição física são então definidas a partir da estrutura planejada para seus canais, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Paralelismo entre Distribuição Física e Canais de Distribuição



Fonte: Adaptada de Novaes (2001).

Uma vez definidos os canais de distribuição, podem ser identificados os deslocamentos físico-espaciais a que os produtos serão submetidos, detalhando-se, a partir dessa análise, a rede logística e o sistema de distribuição decorrente. A rede de distribuição é composta por depósitos, centros de distribuição, estocagem, mecanismos de transportes e estrutura auxiliar.

Ainda segundo Novaes (2004), outro aspecto importante a ser considerado é a dificuldade de alteração dos canais de distribuição

selecionados para uma empresa, que se mantêm fixos por muito tempo, pois envolvem outras empresas, intermediários, contratos etc.

As principais funções de um canal de distribuição são:

- Adaptação: modelar e adaptar o produto (montagem e embalagem) às necessidades do comprador;
- Negociação: fechar acordos que possibilitem a troca de posse do produto ou do serviço;
- Nível de serviço: garantir o nível de serviço pré-estabelecido pelos parceiros da cadeia de distribuição;
- Informação: garantir um fluxo de informações rápido e preciso entre os elementos participantes e, ainda, coletar e distribuir informações proporcionadas por pesquisas de mercado e inteligência de *marketing*;
- Distribuição física: garantir a rápida disponibilidade do produto nos segmentos do mercado identificados como prioritários. Podem ser consideradas, ainda, as atividades de estocagem e armazenagem de produtos;
- Promoção e venda: intensificar o potencial de venda do produto, buscando parcerias entre fabricantes e varejistas que permitam a exposição adequada dos mesmos nas lojas; definir arranjo e disponibilização de mercadoria no fabricante ou no varejo; analisar a necessidade de promoções especiais do produto e desenvolver e distribuir comunicações sobre ofertas;
- Financiamento: obter e alocar recursos que cubram os custos do trabalho no canal;
- Redução de custos: buscar de forma integrada e permanente a redução de custos, analisando a cadeia de valor como um todo.

## 2.2.4 Conceito de centro de distribuição

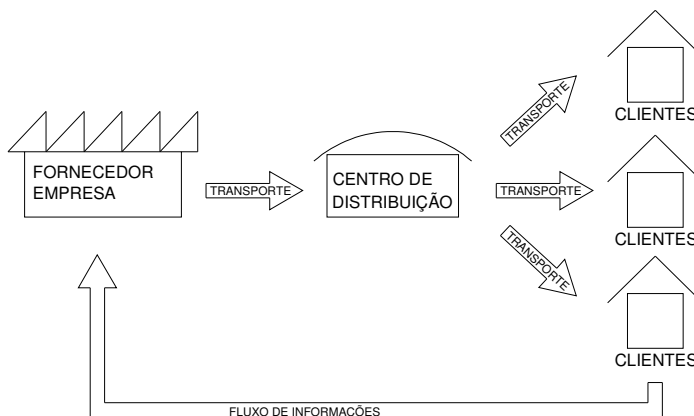
Um Centro de Distribuição, também conhecido como CD, é uma unidade construída por empresas industriais, varejistas para armazenar os produtos produzidos ou comprados para revenda com a finalidade de despachá-los para outras unidades, filiais ou clientes.

A implementação de Centros de Distribuição na cadeia de abastecimento surge da necessidade de se obter uma distribuição mais eficiente, flexível e dinâmica, isto é, capacidade de resposta rápida face a procura cada vez menores, mais frequentes e especificadas. Compartilha-se, assim, a redução de custos por entre as entidades



cooperantes na distribuição do produto e evitam-se pontos de estrangulamento, entre outras vantagens do trabalho em parceria (FARAH Jr., 2002). A Figura 4 ilustra esse conceito:

Figura 4 - Centro de distribuição numa cadeia de suprimentos



Fonte: Adaptado de Ballou (1999).

### 2.2.5 Just in time

*Just in time* é um sistema de administração da produção que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora exata. Pode ser aplicado em qualquer organização para reduzir estoques e seus custos decorrentes.

Com esse sistema, o produto ou matéria-prima chega ao local de utilização *just in time* somente no momento exato em que for necessário. Os produtos somente são fabricados ou entregues a tempo de serem vendidos ou montados.

O conceito de *just in time* está relacionado ao de produção por demanda, onde primeiramente vende-se o produto para depois comprar a matéria-prima, e posteriormente fabricá-lo ou montá-lo.

Nas fábricas onde está implantado, o estoque de matérias-primas é mínimo e suficiente para poucas horas de produção. Para que isso seja possível, os fornecedores devem ser treinados, capacitados e conectados para que possam fazer entregas de pequenos lotes na frequência desejada.

### 2.2.6 Nível de serviço

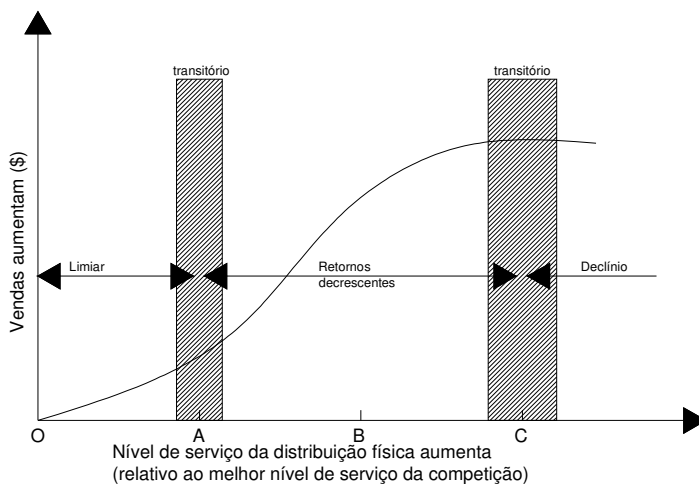
De acordo com Goebel (1996), nível de serviço logístico não é algo que todas as empresas entendem de forma uniforme quanto aos serviços prestados pelos seus fornecedores. Para algumas, é o prazo de entrega, para outras, corresponde ao percentual de itens que o fornecedor consegue atender em cada pedido, imediatamente.

Em ordem decrescente, quanto à importância, assumem-se geralmente, ainda, as seguintes conceituações:

- Tempo decorrido entre o recebimento de um pedido e despacho do mesmo;
- Lote mínimo de compra imposto pelo fornecedor;
- Precisão quanto aos itens enviados em relação aos pedidos realizados;
- Ocorrência de perdas e avarias;
- Possibilidade do nível de serviço logístico oferecido ser um elemento promocional tão importante quanto o desconto no preço.

Tendo em vista que melhorias no nível de serviços geralmente estão associadas a custos, e que melhorias nesse nível não resultam, percentualmente, nos mesmos ganhos em termos de vendas, é preciso avaliar qual o ponto a atingir em comparação aos níveis de serviço já oferecidos pela concorrência. A Figura 5 representa os diferentes estágios de como o nível de serviço afeta as vendas. Admite-se que preços e qualidade são iguais àqueles oferecidos pela concorrência.

Figura 5 - Relação geral entre nível de serviço da distribuição física e vendas



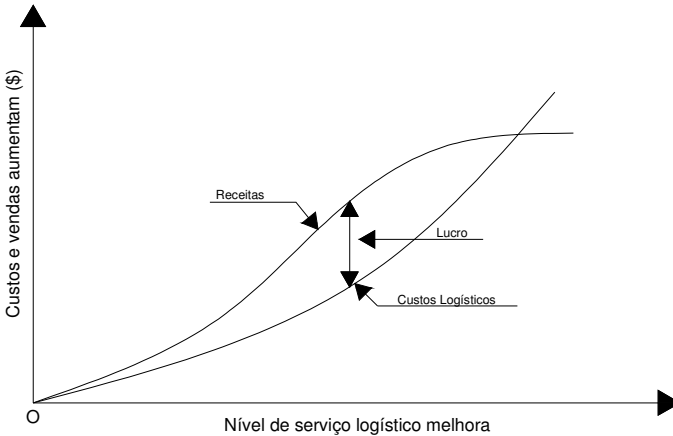
Fonte: Adaptado de Goebel (1996).

O nível de serviço A corresponde àquele oferecido pela concorrência. À medida que ele cresce, as vendas continuam a aumentar, mas a uma taxa menor do que entre O e A. Esta região (AC) é denominada de retornos decrescentes, na qual opera a maioria das empresas. As vendas, naturalmente, não crescem indefinidamente, mas atingem um ponto máximo (nível C). Se alguns itens do nível de serviço oferecido, no entanto, se intensificarem ainda mais (como visita de vendedores para levantar o nível de estoque e outros), os clientes começam a ficar saturados e as vendas caem.

Níveis de serviço melhores frequentemente implicam em custos maiores. De modo a maximizar o lucro da empresa, a preocupação do fornecedor, portanto, consiste em operar a um nível que lhe permita obter a maior diferença entre Receitas e Custos, sendo este inferior ao ponto máximo observado na figura anterior.

Custos logísticos tendem a aumentar as taxas à medida que o nível de serviço melhora, conforme indica a Figura 6.

Figura 6 – Compensação generalizada entre receitas e custos para diversos níveis de serviço logístico



Fonte: Adaptado de Goebel (1996).

A razão para isso é que as oportunidades mais simples são as de menor custo e, por isso também, são selecionadas em primeiro lugar; à medida que são atingidos patamares mais elevados os custos crescem proporcionalmente.

Um indicador fundamental para medir o nível de serviço oferecido pelo fornecedor é o tempo transcorrido entre colocação do pedido até o recebimento das mercadorias, conhecido como *tempo de ciclo de pedido*. Embora não seja muito comum, o ideal é medir o tempo de ciclo de pedido e a sua variação, o que permitirá estabelecer níveis menores de estoque de segurança.

Na prática, a empresa sempre tem a tarefa de identificar quais são, para o cliente, os elementos-chave que determinam o nível de serviço.

A prática revela que é preciso ter grande cautela para estabelecer o nível de serviço do estoque com o objetivo de atender as vendas a partir do estoque disponível. Aumentar a disponibilidade, em apenas alguns pontos percentuais, devido a pressões da área de *marketing* ou por julgamento apressado, pode resultar em custos elevados em termos de capital investido, tendo em vista que os custos de capital crescem vertiginosamente à medida que a disponibilidade dos itens em estoque aumenta.

### 3 TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS

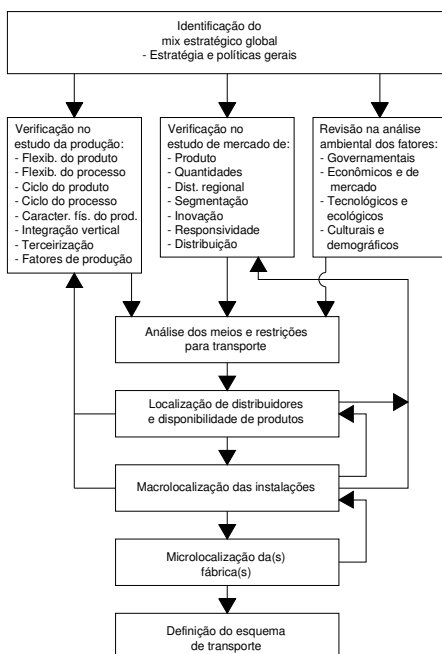
A seguir são descritos brevemente alguns problemas de localização, bem como sistemas que auxiliam na tomada de decisão, como SIG's (Sistemas de Informações Gerenciais) e GIS (*Geographic Information System*– Sistemas de Informação Geográfica), em especial o SisLog (Sistema de Logística), desenvolvido pelo LabTrans/UFSC, que se pretende aplicar neste estudo.

Todos os assuntos tratados nesses itens têm a intenção de apoiar estudos de macrolocalização de facilidades e especificamente o estudo de caso a que se propõe esta dissertação.

#### 3.1 METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DE ESTUDOS DE LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL

O fluxograma da Figura 7 apresenta uma proposta de roteiro para estudo sugerida por Casarotto Filho (2002).

Figura 7 – Roteiro para o estudo de localização industrial



Fonte: Adaptado de Casarotto Filho (2002).

O processo inicia com o reconhecimento do *mix* estratégico global, mais especificamente das estratégias de competitividade, de produto/mercado e de identificação dos meios. Em outras palavras, a localização de uma nova facilidade deve ser precedida por decisões a partir dos seguintes questionamentos:

- O produto será competitivo em função de sua liderança em custos, por ser um produto diferenciado ou por atender especificamente a um determinado foco?
- Quais os tipos de produto a serem produzidos, e quais os tipos de mercados a serem atendidos?
- De quê se dispõe, em termos de recursos financeiros, humanos e tecnológicos para a instalação dessa nova facilidade?

A seguir, recomenda-se o reconhecimento das estratégias funcionais de mercado. Contudo, essa análise pode ser dada paralelamente ao reconhecimento das estratégias de produção e dos fatores de produção preliminarmente selecionados e, também, às análises ambientais externa e interna.

Entende-se como análise ambiental externa a identificação de oportunidades e eventuais ameaças à competitividade da nova facilidade industrial. Como análise ambiental interna, entende-se a identificação de pontos internos – fortes e fracos – que podem ser utilizados para aproveitar oportunidades identificadas externamente, ou que devem ser eliminados para superar as ameaças externas à nova facilidade que se pretende instalar.

O passo seguinte de um estudo logístico de localização consiste na identificação do(s) modal(is) mais adequado(s) para o transporte de produtos, buscando identificar locais potencialmente promissores (próximos a um terminal ferroviário, por exemplo, no caso de se querer utilizar o modal ferroviário) ou de locais que deveriam ser evitados devido a eventuais restrições de transportes.

Na sequência, devem-se identificar as localizações dos principais fornecedores e dos mercados para os quais se pretende distribuir os produtos.

A definição da macrolocalização da nova facilidade, ou seja, do município/bairro onde será instalada essa facilidade consiste na principal etapa deste estudo. Isso porque decisões equivocadas nessa fase dos estudos podem inclusive inviabilizar o novo negócio. É nessa fase que são despendidos os principais esforços ao longo de um estudo logístico de localização industrial, podendo-se inclusive lançar mão de

modelos computacionais que subsidiem a definição da macrolocalização.

A microlocalização, que consiste na seleção do terreno no qual será instalada a nova facilidade, é decorrência da etapa anterior.

Por fim, a definição do esquema de transporte é necessária, pois pode influir nos investimentos e custos do empreendimento, principalmente se a utilização de frota própria for a solução recomendada.

O processo contém alguns *feedbacks* importantes. A microlocalização pode influir na macrolocalização, como em um exemplo em que um terreno em ótimas condições microlocações contenha vantagens que suplantem as desvantagens macrolocações. Também as análises de macrolocalização e distribuição poderão fornecer um retorno aos estudos de mercado e de produção, já que para esses estudos, sobre algumas variáveis, antes apenas estimadas, agora se dispõem de informações mais precisas. A doação de uma área de terras, ou um forte incentivo governamental, por exemplo, podem indicar uma localização onde a disponibilidade dos fatores não condiga com as definições do estudo da produção (CASAROTTO FILHO, 2002).

Conforme mencionado anteriormente, o passo mais importante de um estudo de localização diz respeito à etapa de macrolocalização. Como forma de facilitar a consecução dessa etapa, existem modelos matemáticos e computacionais que podem imprimir maior precisão aos resultados obtidos. No próximo item, discorre-se sobre alguns desses modelos.

### 3.2 PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO

Krarup e Pruzan (1978 apud CLEMENTE, 2002) classificam os vários modelos de localização discreta em quatro tipos básicos:

- Problemas de p-medianas;
- Problemas de p-centros;
- Localização de unidades de capacidade ilimitada; e
- Problemas de designação quadrática.

Nos itens que seguem serão apresentados simplificadaamente os quatro modelos. No Anexo A encontram-se exemplos extraídos do livro “Projetos Empresariais e Públicos”, de Clemente (2002), para cada um dos modelos.

### 3.2.1 P-medianas

O modelo de  $p$ -medianas é um dos modelos de localização mais populares da literatura. Esse modelo foi aplicado várias vezes para localizar centros nos setores públicos e privados. Conceitualmente, ele é muito simples, entretanto, apresenta um número muito grande de soluções e não é sempre possível resolvê-lo de forma ótima (LORENA, 2004).

Para Clemente (2002), o problema de  $p$ -medianas consiste em escolher um subconjunto de  $p$  localizações dentre os nós da rede, de forma a atender todas as demandas de todos os clientes ao custo total mínimo. O modelo adota dois pressupostos:

- Sempre que as localizações da empresa e do cliente não coincidirem, cada entrega requererá exatamente uma viagem.
- Cada ponto onde a empresa estiver instalada poderá atender qualquer número de clientes (capacidade ilimitada).

No Anexo A encontra-se um exemplo simplificado da utilização do método.

Ainda de acordo com Clemente (2002), o problema de  $p$ -medianas é muito útil para estudos preliminares, a partir dos quais outras considerações serão adicionadas. Dessa forma, normalmente haverá interesse em realizar simulações envolvendo seus parâmetros, quais sejam:

- Conjunto de pontos de demanda;
- Conjunto de localizações possíveis;
- Pesos dos pontos de demanda; e
- Distâncias, custos de transporte ou tempo de viagem.

### 3.2.2 P-centros

Problemas de  $p$ -centros surgem para a escolha de localização de serviços públicos de emergência, como postos de bombeiros e hospitais. Nesses casos, se deseja que o tempo máximo de deslocamento entre qualquer ponto de demanda e o ponto de atendimento mais próximo seja inferior a um dado limite.

Esses problemas são do tipo *minimax*: dadas  $p$  localizações de oferta, atribui-se cada ponto de demanda a cada uma delas de forma que a distância máxima total seja mínima. É importante ressaltar que, ao contrário do que ocorre com os problemas de  $p$ -medianas, os problemas de  $p$ -centros podem apresentar solução ótima envolvendo pontos que não são nós da rede. A maioria desses pontos geralmente não é de interesse, mas, se for desejável, podem-se pesquisar quaisquer pontos



incluídos como localizações potenciais. Quanto às possibilidades de simulações, são válidas as citadas para p-medianas (CLEMENTE, 2002).

Também no Anexo A pode ser visto um exemplo simplificado dos cálculos desse método.

### 3.2.3 Localização de unidade de capacidade ilimitada

Embora usual, o nome *Unidade de Capacidade Ilimitada* não é adequado para esse problema, pois os dois modelos anteriores supõem que, uma vez escolhida certa localização, a capacidade é ilimitada, podendo atender qualquer número de clientes.

Duas características importantes dos problemas de localização de unidades de capacidade ilimitada distinguem-no dos anteriores:

- Associa-se um custo fixo não negativo a cada localização potencial; e
- O número de localizações a serem escolhidas não é pré-definido.

Os custos variáveis são estabelecidos levando-se em conta o atendimento de cada ponto de demanda a partir de cada localização potencial, mas pode haver variação relevante de custo de produção dependendo do número de localidades atendidas. Nesse caso, o custo fixo teria que ser obtido por aproximações sucessivas, sendo corrigido em cada iteração para o volume de produção alocado a cada alternativa de localização.

### 3.2.4 Problemas de designação quadrática

Os problemas de designação quadrática destinam-se a descobrir o arranjo ótimo em um espaço pré-determinado onde as alternativas de localização podem receber qualquer das unidades a serem localizadas (mas apenas uma delas). Esses problemas baseiam-se no conceito de matriz de conexão, cujos elementos representam a importância da proximidade entre duas unidades quaisquer. Assim, esse problema apresenta dois componentes básicos:

- Matriz de conexão envolvendo as unidades a serem designadas; e
- Matriz de distâncias entre as alternativas de localização.

Para Clemente (2002), o que restringe o uso desse tipo de problema é a subjetividade da matriz de conexão, principalmente nos casos em que as estimativas não podem ser obtidas diretamente com os usuários. Outra restrição refere-se à suposição de que qualquer

localização potencial pode receber qualquer das unidades a serem designadas.

### 3.3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GERENCIAL (SIG)

O Sistema de Informação Gerencial é definido como um processo de transformação de dados em informações que são utilizadas na estrutura decisória da empresa, proporcionando, ainda, a sustentação administrativa para otimizar os resultados esperados. Nas palavras de Oliveira (2004, p. 40):

SIG pode ser definido como um sistema integrado homem-máquina, isto é, um sistema integrado entre máquina e usuário, em que o papel da máquina é fornecer apoio para as funções de análise e tomada de decisões na empresa.

A principal função dos SIGs, segundo Stair (1998), é a de ajudar uma organização a atingir suas metas, fornecendo aos administradores uma visão das operações regulares da empresa, de modo que possam controlar, organizar e planejar mais eficaz e eficientemente as atividades. São de grande importância para as empresas, pois realizam as integrações entre as diversas funções empresariais e auxiliam no processo de tomada de decisões.

Segundo Marques (1994), a informação tem sido vista como recurso vital pelas empresas, pois afeta e influencia a produtividade, a lucratividade e as decisões estratégicas destas. Dentre os benefícios oferecidos pelo Sistema de Informação Gerencial, citam-se a redução de custos nas operações, relatórios mais precisos e rápidos, melhorias nos serviços realizados e oferecidos, tomadas de decisão e projeção de efeitos mais precisos, melhoria na estrutura organizacional, entre outros.

O SIG é um instrumento de apoio à otimização dos resultados, que exige, inextricavelmente, competência das pessoas que irão utilizá-lo e o conhecimento e confiança no sistema de informações gerenciais. Subdivide-se em áreas funcionais, necessárias à empresa, por exemplo, *marketing*, produção, administração financeira, de materiais, de recursos humanos e de serviços, e gestão empresarial. Por meio da execução das funções e atividades se alcançam produtos bem definidos (MARQUES, 1994).

### 3.3.1 Sistemas computacionais para logística

Com o surgimento da aplicação das técnicas de logística nos anos de 1970, foram desenvolvidos pacotes e sistemas computacionais de apoio às decisões logísticas. Inicialmente estes eram voltados para a gestão das operações relacionadas ao fluxo de produto. Assim, os benefícios foram aumentando com a inclusão de instrumentos eletrônicos, como é o caso do uso de *scanners* de leitura ótica de barras (LÜBECK, 2007).

Ainda segundo Lübeck (2007), outro exemplo de tecnologia da informação aplicada à logística é o caso dos sistemas de gerenciamento de transportes e sistemas de gerenciamento de produção, com o uso de computadores de bordo e rastreadores no primeiro caso, e uso de sistemas de controle *shop floor* (em português: chão de fábrica) no segundo caso. Os dados gerados por esses instrumentos garantem que as operações serão realizadas dentro do previsto e que os objetivos serão atingidos.

A partir desses dados, é possível e necessária a criação e implantação de um sistema de informações que incorpore as necessidades de planejamento e gerenciamento das realizações. Este trata os dados de três maneiras distintas: através de recuperação, processamento e análise. O processamento é de suma importância, visto que é a forma com que se fornecem informações que auxilia na tomada de decisões gerenciais, através da aplicação de modelos matemáticos ou algoritmos computacionais.

A adoção de um sistema de informações logísticas é dificultada pela existência de poucos modelos logísticos que possibilitem o gerenciamento tático e estratégico com visão sistêmica e com convergência de objetivos da logística. São necessários modelos que proporcionem uma análise consistente e isso requer conhecimento dos gestores sobre o funcionamento das variáveis que fazem parte do modelo.

### 3.4 GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS)

Os Sistemas de Informação Geográfica (do inglês *Geographic Information System*) são ferramentas adequadas e modernas para a modelagem e o tratamento de problemas com distribuição espacial de dados. Os GIS's integram computação gráfica a uma base de dados (LORENA, 2004).

O conceito de retratar diferentes camadas de dados em uma série de mapas e depois tentar relacioná-los por sobreposição precede a

existência dos computadores. Mapas da batalha de Yorktown, da Revolução Americana, desenhados pelo cartógrafo francês Louis-Alexandre Berthier, mostravam movimentos de tropas através desse recurso. Em meados do século XIX, o *Atlas to Accompany the Second Report of the Irish Railway Commissioners* mostrava dados acerca de população, fluxo de tráfego, geologia e topografia sobrepostos no mesmo mapa básico – já consistindo em uma utilização empresarial e não militar do instrumento.

Em setembro de 1854, em Londres, o Dr. John Snow usou um mapa que mostrava as localizações dos casos de morte por cólera no centro da cidade, conseguindo localizar um poço contaminado que desencadeou o surto da doença, sendo este um dos primeiros casos de utilização de análise geográfica.

Segundo Korte (2001), o GIS é uma ferramenta utilizada para análises de informação geográfica que usa funções de dados geométricos ligados a tabelas de atributos alfanuméricos. Os dados geométricos e alfanuméricos, dessa forma interligados, suprem sistemas computacionais possibilitando análise de problemas predeterminados.

Segundo Burrough e McDonnell (1998), o GIS é definido em função de três itens:

- Posição do objeto cujas coordenadas se deseja obter;
- Atributos relacionados a essas coordenadas; e
- Relações espaciais entre os objetos.

O GIS é baseado na ligação entre os dados geográficos e os dados alfanuméricos, sendo tal ligação efetuada através de um ID (identificador). O ID é o atributo que liga as duas informações, permitindo que uma entidade geométrica tenha relação com um dado de uma tabela.

Para estudos na área de transportes, a vantagem em se usar um GIS está na habilidade de associar a cada arco e nó da rede um conjunto de atributos que de outra maneira não estaria disponível para a análise. Além disso, alguns algoritmos bem conhecidos, como os utilizados para minimizar a distância e o tempo percorridos em uma rota, estão imediatamente disponíveis. Outra vantagem está na utilização de informações de censo demográfico que associam características econômicas e de população às áreas nas redondezas de cada nó ou arco da rede. Em outras palavras, muitos problemas práticos de localização de facilidades de transporte estão intimamente relacionados ao uso de uma rede viária como um espaço no qual os serviços operam (LORENA, 2004).

Neste estudo, será utilizado o Sistema Logístico (SisLog) para subsidiar os estudos de localização do CD que se pretende realizar ao longo do estudo de caso. O SisLog é um simulador logístico desenvolvido pelo Laboratório de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina (LabTrans/UFSC) para a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), e por ter sido totalmente desenvolvido com tecnologia nacional, não apresenta dificuldades na realização das adaptações necessárias para a comunicação entre o simulador e o modelo p-medianas.

### 3.5 SISTEMA LOGÍSTICO (SISLOG)

O SisLog tem como objetivo geral analisar cenários atuais e futuros considerando investimentos na infraestrutura logística e/ou alterações na demanda por sistemas de transportes, bem como dar suporte à decisão para estudos logísticos e estudos de planejamento de transportes, permitindo a visualização dos resultados de forma gráfica e tabelada (custos, distâncias, tempos, utilidades e fluxos de cada caminho), de acordo com a simulação realizada.

Conforme mencionado anteriormente, o SisLog foi desenvolvido pelo LabTrans/UFSC com tecnologia 100% nacional, tendo sido este o principal motivo que levou à escolha desse sistema para ser utilizado no presente estudo -- ou seja, a disponibilidade e a facilidade de modificar o sistema de acordo com as necessidades.

#### 3.5.1 Funcionalidades

A seguir, são apresentadas características das funcionalidades envolvidas no sistema, cuja compreensão é importante para avaliação dos resultados obtidos a partir das simulações efetuadas.

##### 3.5.1.1 Cadeia logística

As cadeias logísticas contêm informações de quantidades produzidas e movimentadas entre um dado par origem-destino. Tais informações podem ser representadas por:

- Linhas de desejo: nesse formato, são mostrados apenas os trechos por onde passa o produto selecionado e as quantidades que vão de um lugar ao outro; e
- Caminhos mínimos: nesse formato, o sistema processa os pontos de origem e de destino do produto, desenhando o melhor itinerário logístico do produto por divisão modal.

### 3.5.1.2 *Custos logísticos*

Os custos logísticos calculados a partir do SisLog incluem custos de frete, custo de estoque em trânsito, custo da perda de carga e de seguro ao longo do percurso, custo de armazenagem e transbordo, assim como perda de carga nos terminais ferroviários e hidroviários.

### 3.5.1.3 *Caminho mínimo*

Caminho mínimo diz respeito ao menor caminho entre uma origem e um destino, sendo o parâmetro a ser medido (no cálculo do caminho) não necessariamente a distância, podendo ser o tempo ou mesmo o custo logístico.

### 3.5.1.4 *Área de influência*

A área de influência é uma ferramenta que permite a visualização gráfica da influência de dois ou mais destinos sobre determinada região ou conjunto de pontos (cidades, portos, terminais). Ela pode ser determinada em função da distância, tempo ou custo logístico.

### 3.5.1.5 *Alimentação do modelo*

Para possibilitar a realização das simulações, torna-se necessário inserir, como dados de entrada, a rede viária a ser considerada e os fluxos de produtos para os diferentes cenários de demanda a serem simulados. A entrada de dados associados aos fluxos, no modelo SisLog é realizada por meio de uma planilha (elaborada em Excel), salva com a extensão “.csv”. Encontram-se, em tal planilha, os pares origem-destino dos produtos, além das respectivas quantidades de cada fluxo. Além disso, são também fornecidos os códigos de identificação dessas origens e destinos. A partir desses arquivos, o SisLog tem condições de realizar as locações.

Um ponto importante a ser destacado diz respeito à necessidade de se definir, previamente à realização das simulações, a matriz origem-destino e as respectivas quantidades, associadas ao fluxo de produtos com destino às zonas externas.

## 3.5.2 **Calibração do modelo**

Com o intuito de imprimir maior coerência aos dados de entrada considerados quando da realização das simulações, torna-se necessário calibrar o sistema. Isso pode ser feito com base nos custos e volumes atuais de transporte da empresa, onde uma vez inseridos no sistema, este

deve retornar, como resultado, o custo logístico real das operações de distribuição da empresa.





## 4 MODELO DE P-MEDIANAS

Dentre os modelos mais comuns de localização de facilidades, o modelo de p-medianas é o que pode trazer as melhores respostas e o que mais se adapta ao problema de localização de Centros de Distribuição.

O problema de p-medianas é clássico em decisões de localização de facilidades e consiste em localizar p-centros (medianas) em uma rede, de modo a minimizar a soma das distâncias de cada vértice ao centro mais próximo. As primeiras formulações desse problema foram apresentadas por Hakimi (1964).

Neste capítulo, será mostrado, com base em exemplos teóricos, como funciona o modelo e, em seguida, serão apresentadas algumas adaptações feitas para gerar a melhor resposta ao problema de localização de um Centro de Distribuição.

### 4.1 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO DE P-MEDIANAS

O problema de p-medianas tem sido tema de inúmeras pesquisas que apresentam diferentes abordagens para sua implementação. Hakimi (1964) apresentou as primeiras formulações do problema, e identificou uma mediana. Depois, a formulação foi generalizada para a identificação de múltiplas medianas pelo mesmo autor.

De acordo com Arenales e colaboradores (2007), os problemas que envolvem localização de facilidades são críticos, sejam eles na área pública ou privada. Os autores apresentam a seguinte formulação matemática para os problemas de p-medianas. Para tanto, considere-se:

$J$  = conjunto de nós  $j$  que representam os clientes,  $j=1, \dots, m$

$I$  = conjunto de locais  $i$  candidatos à localização de facilidades,  $i=1, \dots, m$

$q_j$  = demanda do cliente  $j$

$d_{ij}$  = distância do cliente  $j$  à facilidade localizada em  $i$

$c_{ij}$  = custo de atender a demanda  $q_j$  a partir da facilidade localizada em  $i$

$f_i$  = custo fixo de instalação de uma facilidade em  $i$

$Q_i$  = capacidade da facilidade instalada no local  $i$

$y_i = \begin{cases} 1, & \text{se a facilidade é aberta no local } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

O problema de p-medianas envolve a localização de  $p$  facilidades e a designação de clientes à facilidade, de modo a minimizar a distância ou qualquer outra variável de impedância (ARENALES et al, 2007). O modelo permite que os nós das instalações estejam em qualquer lugar

dos arcos que ligam nós dos clientes, incluindo o nó dos clientes, o que implica dizer que  $I \subset J$ .

Sendo assim, a formulação para o problema é dada pela função objetivo

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij}$$

e quatro restrições, a saber:

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \forall j \in J$$

$$x_{ij} \leq y_j, \forall i \in I, \forall j \in J$$

$$\sum_{i \in I} y_i = p$$

$$x \in B^{I \times J}, y \in B^J$$

A função objetivo minimiza o custo total de designação de clientes a facilidades. A primeira restrição garante que cada cliente  $j$  é atendido por uma única facilidade. A segunda restrição assegura que cada cliente  $j$  só pode ser designado a uma facilidade aberta no local  $i$ . Já a terceira restrição indica que exatamente  $p$  facilidades são abertas, e a última restrição representa o tipo das variáveis.

Segundo Bezerra (2008), os problemas de  $p$ -medianas são classificados como problemas difíceis, e os métodos exatos propostos para solucioná-los encontram dificuldades nos casos de dimensões elevadas, aumentando exponencialmente o tempo de resposta em função do aumento da quantidade de dados de entrada. Dessa forma, segundo o mesmo autor, métodos heurísticos e metaheurísticos podem encontrar boas soluções em um tempo computacional aceitável.

Maranzana (1963) e Teitz e Bart (1968) apresentam dois dos primeiros métodos heurísticos propostos na literatura para resolução do PMP. Outras resoluções, através de formulações heurísticas, têm encontrado aplicações em Ashayeri et al. (2005), em que o método AVS (Adjusted Vertex Substitution) é utilizado; em Resende e Werneck (2002) e Resende e Werneck (2003), nos quais os

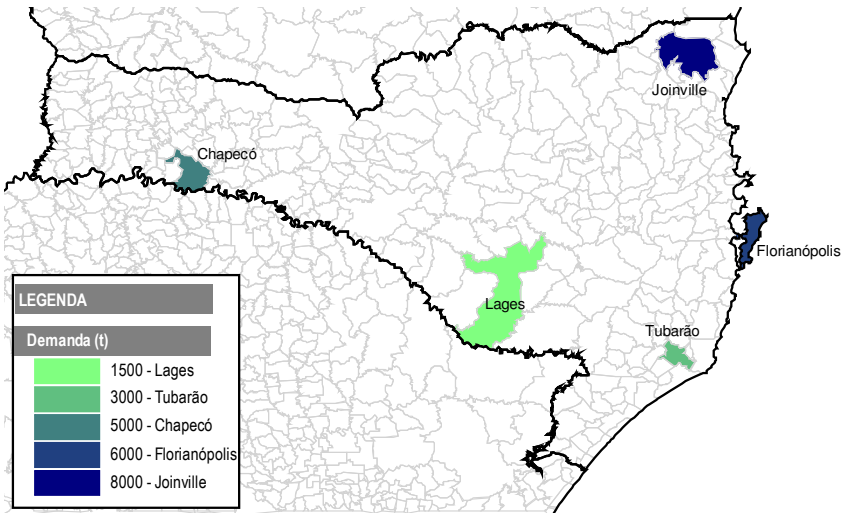
procedimentos path-relinking, juntamente com algoritmo de busca local, são aplicados; e em Rosing e Hodgson (2002), em que é utilizado o método Heuristic Concentration - HC.

Dentre os métodos metaheurísticos propostos, podem-se destacar aqueles baseados em algoritmos evolutivos: Algoritmo Genético (Genetic Algorithm - GA) e Otimização por Enxame de Partículas Discreto (Discrete Particle Swarm Optimization - DPSO). O GA é utilizado em problemas de localização de facilidades por Chaudhry et al. (2003) e utilizado especificamente para solução do PMP capacitado por Correa et al. (2004). García e Pérez (2007) propõem uma modificação no método DPSO na busca por melhores soluções para o PMP denominado Otimização por Saltos de Rãs (Jumping Frog Optimization - JFO) (BEZERRA, 2008, p. 2).

#### 4.2 O MODELO CLÁSSICO

Considere-se o seguinte problema: há cinco pontos de consumo de um determinado produto no estado de Santa Catarina. É necessário definir um Centro de Distribuição que possa abastecer os cinco pontos de forma a minimizar uma determinada impedância (distância, tempo ou custo). A Figura 8 mostra os pontos de consumo (cidades) e as respectivas demandas.

Figura 8 – Pontos de consumo e demandas em Santa Catarina



Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.

Para o uso do modelo de p-medianas clássico, são necessárias apenas as impedâncias e as localizações prováveis do futuro CD. Nesse caso, o provável local de instalação do CD é uma das cinco cidades identificadas, e será utilizada como impedância a distância rodoviária existente entre as cidades.

Vale ressaltar que para o modelo é preciso conhecer as impedâncias de todos os possíveis pontos de instalação do CD para todos os pontos de demanda. No exemplo em questão, serão obtidas as impedâncias de todas para todas as cidades, ou seja, uma matriz de impedância 5x5.

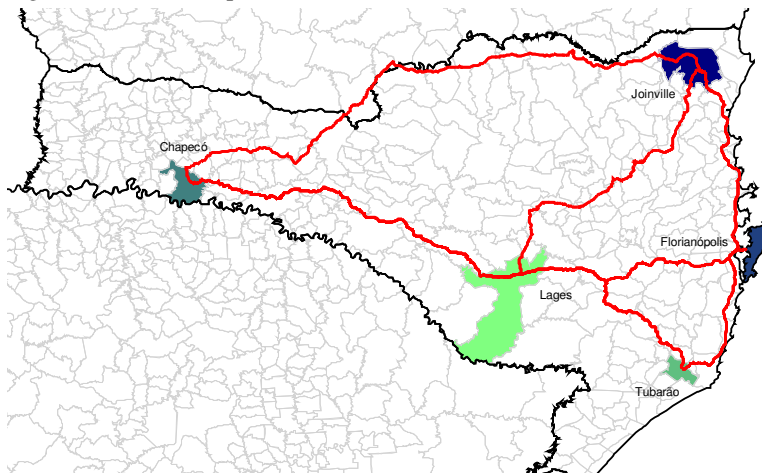
Para o cálculo das distâncias rodoviárias entre as cidades, será utilizado o SisLog em uma simulação de minimização de caminhos por menores tempos de viagem, priorizando, assim, as vias pavimentadas (que possibilitam o tráfego em maior velocidade). A Tabela 3 mostra a matriz de distâncias. Os caminhos percorridos podem ser visualizados na Figura 9, em seguida.

Tabela 3 - Matriz de distâncias (km)

	<b>Joinville</b>	<b>Florianópolis</b>	<b>Chapecó</b>	<b>Lages</b>	<b>Tubarão</b>
Joinville		174,48	511,13	<b>300,75</b>	294,70
Florianópolis	174,48		540,30	<b>222,10</b>	135,38
Chapecó	511,13	540,30		<b>321,86</b>	526,33
Lages	300,75	222,10	321,86		208,14
Tubarão	294,70	135,38	526,33	<b>208,14</b>	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 9 – Caminhos percorridos



Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.

No modelo p-medianas clássico, para encontrar a localização de um CD entre as cinco cidades estudadas, basta somar as colunas da matriz de impedância. A coluna que obtiver o menor valor corresponderá à localização do CD. A Tabela 4 apresenta as respectivas somas:

Tabela 4 - Matriz de distâncias para escolha de um CD (km)

	<b>Joinville</b>	<b>Florianópolis</b>	<b>Chapecó</b>	<b>Lages</b>	<b>Tubarão</b>
Joinville		174,48	511,13	<b>300,75</b>	294,70
Florianópolis	174,48		540,30	<b>222,10</b>	135,38
Chapecó	511,13	540,30		<b>321,86</b>	526,33
Lages	300,75	222,10	321,86		208,14
Tubarão	294,70	135,38	526,33	<b>208,14</b>	
Total	1.281,06	897,78	1.388,49	<b>752,10</b>	869,85

Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste exemplo, a melhor localização para instalação do novo CD é na cidade de Lages, o que já era esperado intuitivamente, uma vez que a cidade fica centralizada em relação às demais, minimizando assim, as distâncias.

No entanto, o cálculo realizado dessa forma não leva em consideração um fator importante: a demanda. A adaptação do modelo para refletir o efeito da demanda é simples e conhecido. Para tanto, será utilizado o frete como impedância. Utilizar-se-á um frete médio de R\$0,10/km/t (dez centavos de real para cada quilômetro percorrido para cada tonelada transportada). Caso fosse transportada apenas uma tonelada para cada cidade, a matriz de impedância seria a que segue (Tabela 5):

Tabela 5 - Matriz de fretes unitários (R\$/t)

	<b>Joinville</b>	<b>Florianópolis</b>	<b>Chapecó</b>	<b>Lages</b>	<b>Tubarão</b>
Joinville	-	17,45	51,11	30,08	29,47
Florianópolis	17,45	-	54,03	22,21	13,54
Chapecó	51,11	54,03	-	32,19	52,63
Lages	30,08	22,21	32,19	-	20,81
Tubarão	29,47	13,54	52,63	20,81	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

Porém, sabe-se que as demandas não são unitárias (ver Figura 8); estas podem ser demonstradas na forma de matriz conforme a Tabela 6:

Tabela 6 - Matriz de demandas (t)

	<b>Joinville</b>	<b>Florianópolis</b>	<b>Chapecó</b>	<b>Lages</b>	<b>Tubarão</b>
Joinville	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Florianópolis	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Chapecó	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Lages	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Tubarão	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000

Fonte: Elaborada pelo autor.

Multiplicando-se os valores dos fretes unitários pelas respectivas demandas, chega-se à matriz de custos de transporte para levar toda a demanda partindo de qualquer uma das cinco possíveis localizações dos Centros de Distribuição. Somando-se as colunas da matriz resultante, de forma análoga à feita anteriormente, pode-se definir a localização do CD. A Tabela 7 mostra o resultado:

Tabela 7 - Matriz custo x fluxo para escolha de um CD (R\$)

	<b>Joinville</b>	<b>Florianópolis</b>	<b>Chapecó</b>	<b>Lages</b>	<b>Tubarão</b>
Joinville	-	<b>139.584,00</b>	408.904,00	240.600,00	235.760,00
Florianópolis	104.688,00	-	324.180,00	133.260,00	81.228,00
Chapecó	255.565,00	<b>270.150,00</b>	-	160.930,00	263.165,00
Lages	45.112,50	<b>33.315,00</b>	48.279,00	-	31.221,00
Tubarão	88.410,00	<b>40.614,00</b>	157.899,00	62.442,00	-
Soma	493.775,50	<b>344.079,00</b>	530.358,00	356.632,00	375.614,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 7, que leva em consideração as demandas de cada cidade, evidencia que a cidade de Florianópolis é a mais propícia a receber a instalação do novo CD. Esse resultado já era esperado intuitivamente, uma vez que as maiores demandas estão no litoral (Joinville e Florianópolis).

Vale colocar que, nesse exemplo, não estão sendo considerados os custos de distribuição dentro das cidades (diagonal da matriz de custos é igual a zero); somente são computados os custos de transferência entre uma cidade e outra. Porém, nada impede que seja levada em consideração tal variável.

O modelo de p-medianas aplicado para encontrar a localização de apenas um CD é bastante simples; já para a determinação de dois ou mais CDs necessita-se do cálculo de todas as possíveis combinações de

resultados. Sendo assim, pode-se dizer que o modelo de p-medianas é um modelo de *força bruta*.

Em Ciência da Computação, força bruta (ou busca exaustiva) é um algoritmo trivial, embora de uso generalizado, que consiste em enumerar todos os possíveis candidatos de uma solução e verificar se cada um satisfaz o problema, ou qual deles melhor se adéqua à solução.

Seguindo o exemplo, são encontrados dois CDs entre as cinco cidades consideradas, utilizando-se a mesma matriz de fretes e as mesmas demandas. Para tanto, serão calculadas todas as possíveis soluções do problema. O número de soluções possíveis para esse problema é fácil de ser obtido, bastando calcular o número de combinações para 5 elementos agrupados 2 a 2. Note-se que se trata do cálculo de uma combinação e não de um arranjo, uma vez que a escolha de Tubarão e Lages para serem CDs é equivalente à escolha de Lages e Tubarão, por exemplo. Assim:

$$C = \frac{n!}{p!(n-p)!}$$

Onde:

n = número total de elementos;

p = número de elementos da combinação.

Para este exemplo:

$$C = \frac{5!}{2!(5-2)!} = 10$$

A combinação de 5 elementos agrupados 2 a 2 resulta em 10 possíveis soluções, ou seja, para o problema de localizar 2 Centros de Distribuição entre as 5 cidades, têm-se 10 possibilidades. Uma das soluções possíveis é instalar CDs nas cidades de Tubarão e Lages. Caso isso ocorra, o custo para atender as 5 cidades partindo desses dois CDs pode ser calculada conforme mostrado na Tabela 8:



Tabela 8 - Exemplo de cálculo para dois CD's (R\$)

	<b>Lages</b>	<b>Tubarão</b>	<b>Menor Custo</b>
<b>Joinville</b>	240.600,00	<b>235.760,00</b>	235.760,00
<b>Florianópolis</b>	133.260,00	<b>81.228,00</b>	81.228,00
<b>Chapecó</b>	<b>160.930,00</b>	263.165,00	160.930,00
<b>Lages</b>	-	31.221,00	-
<b>Tubarão</b>	62.442,00	-	-
<b>Soma</b>			<b>477.918,00</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme a Tabela 8, para abastecer Joinville seria melhor (mais barato) utilizar o CD de Tubarão; já para abastecer Chapecó, o melhor seria o CD de Lages. Logo, existindo CD nas cidades de Tubarão e Lages, o custo total de distribuição para atender toda a demanda seria de R\$ 477.918,00. Deve-se repetir esse processo para todos os 10 possíveis resultados e adotar, como a melhor solução, aquela que trouxer o menor custo total. A Tabela 9 mostra as combinações possíveis e seus custos:

Tabela 9 - Resultados das combinações possíveis

<b>CD 1</b>	<b>CD2</b>	<b>R\$</b>
Joinville	Florianópolis	329.494,00
Joinville	Chapecó	238.210,50
Joinville	Lages	328.060,00
Joinville	Tubarão	368.014,00
<b>Florianópolis</b>	<b>Chapecó</b>	<b>213.513,00</b>
Florianópolis	Lages	341.128,00
Florianópolis	Tubarão	433.970,00
Chapecó	Lages	436.302,00
Chapecó	Tubarão	348.209,00
Lages	Tubarão	477.918,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme o exemplo, a melhor solução para instalação de dois CDs seria nas cidades de Florianópolis e Chapecó. Florianópolis atenderia às cidades de Joinville, Lages e Tubarão, além da demanda local existente. Já o CD de Chapecó atenderia somente à própria demanda. A Tabela 10 ilustra tal afirmação:

Tabela 10 - Detalhes da melhor opção (R\$)

	<b>Florianópolis</b>	<b>Chapecó</b>	<b>Menor Custo</b>
<b>Joinville</b>	<b>139.584,00</b>	408.904,00	139.584,00
<b>Florianópolis</b>	-	324.180,00	-
<b>Chapecó</b>	270.150,00	-	-
<b>Lages</b>	<b>33.315,00</b>	48.279,00	33.315,00
<b>Tubarão</b>	<b>40.614,00</b>	157.899,00	40.614,00
<b>Soma</b>			<b>213.513,00</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Caso o problema fosse estudar a instalação de mais de dois CDs, o processo seria análogo. O modelo de p-medianas clássico, exemplificado até o momento, corresponde muito bem à realidade no que diz respeito aos custos de distribuição, porém, cabem dois questionamentos:

1. Como levar em consideração centros de distribuição já existentes?
2. Como levar em consideração os custos para abastecer o Centro de Distribuição?

Os dois subitens que seguem procuram trazer respostas a essas duas perguntas que podem afetar sobremaneira as soluções encontradas pelo modelo.

#### 4.3 P-MEDIANAS COM CD EXISTENTE

O caso de estudo de localização de um novo CD levando-se em consideração um CD já existente é relativamente simples de ser resolvido e, provavelmente, é um caso muito mais comum do que se pensa.

Considere-se uma empresa situada no estado de Santa Catarina e que vende para todo o Brasil. Atualmente ela distribui seus produtos diretamente de sua planta industrial, o que caracteriza a existência de um Centro de Distribuição junto à fábrica.

No entanto, com o intuito de agilizar suas entregas, a empresa decide instalar um Centro de Distribuição fora da sua planta industrial. Caso suas vendas sejam uniformes ao longo do território nacional, é de se esperar que o modelo clássico de p-medianas traga como resposta uma localização no estado de São Paulo ou de Goiás. Porém,

difícilmente os estados do Sul do país serão abastecidos por esse novo CD; eles devem continuar sendo abastecidos pelo CD existente na planta da fábrica. Nesse caso, o problema seria localizar um segundo CD levando-se em consideração a existência de outro junto à empresa.

Voltando ao exemplo das 5 cidades do estado de Santa Catarina, supõe-se que a empresa tenha sua planta industrial na cidade de Lages e que se deseja instalar mais um CD. No momento de calcular as possíveis combinações (5 combinados 2 a 2), deve-se levar em consideração somente as soluções em que um dos dois CDs esteja na cidade de Lages, conforme mostra a Tabela 11.

Tabela 11 - Opções para localização de dois CD's com um existente em Lages

CD 1	CD2	R\$
Joinville	Florianópolis	329.494,00
Joinville	Chapecó	238.210,50
<b>Joinville</b>	<b>Lages</b>	<b>328.060,00</b>
Joinville	Tubarão	368.014,00
Florianópolis	Chapecó	213.513,00
Florianópolis	Lages	341.128,00
Florianópolis	Tubarão	433.970,00
Chapecó	Lages	436.302,00
Chapecó	Tubarão	348.209,00
Lages	Tubarão	477.918,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

Note-se que a Tabela 11 é a mesma calculada para o caso da escolha de dois CDs (Tabela 9). No entanto, estão destacadas somente as opções em que o CD1 ou o CD2 está localizado na cidade de Lages e, dentre essas opções, escolhe-se a de menor custo - nesse caso, CD1 em Joinville e CD2 em Lages, com um custo total de R\$ 328.060,00.

Da Tabela 7, em que são mostrados os custos totais de transporte para escolha de apenas um CD, pode-se inferir que, caso a empresa continuasse a atender sua demanda diretamente da planta industrial localizada em Lages, ela teria um custo total de R\$ 356.632,00, mas caso a empresa realmente instale mais um CD em Joinville, esta terá uma economia nos custos de distribuição de R\$ 28.572,00.

Vale lembrar que a instalação de um segundo CD em Joinville só é a melhor opção para a empresa quando levada em consideração a existência de um outro CD em Lages.

#### 4.4 P-MEDIANAS COM CUSTO DE ABASTECIMENTO

Até o presente momento, consideraram-se somente os custos relativos à distribuição das mercadorias, ou seja, os custos de transporte existentes para levar o produto do Centro de Distribuição até os pontos de demandas. No entanto, é necessário considerar os custos do transporte da fábrica até o CD. Esse transporte entre a unidade de produção (fábrica) e o possível CD é de grande importância, uma vez que se trata de movimentar toda a produção de um ponto a outro para, então, distribuí-la.

Para entender o impacto desse custo sobre a decisão de localização, será utilizado o exemplo de localização de um CD mostrado na Tabela 5, no qual Florianópolis foi escolhida como melhor alternativa para instalação do CD, permanecendo a suposição de que a empresa possui sua planta industrial em Lages.

Nesse caso, o único ponto escolhido para simples localização de um CD será responsável por abastecer todos os demais. Isso implica dizer que ele deverá ser abastecido com o somatório de todas as demandas, ou seja, para esse exemplo é necessário transportar 23.500 toneladas de produto de Lages até o novo CD. Caso o Centro de Distribuição seja instalado em Florianópolis, ter-se-á um custo unitário de transporte de R\$ 22,21 por tonelada (vide Tabela 3) para transportar a carga de Lages a Florianópolis, o que representa um custo total de abastecimento de R\$ 521.935,00 ( $23.500[t] \times 22,21[R\$/t]$ )

O valor do abastecimento (R\$ 521.935,00) somado ao valor de distribuição (R\$ 344.079,00) encontrado na Tabela 5 resulta em um custo total de transporte de R\$ 866.014,00. O custo de abastecimento é cerca de 50% maior do que o custo de distribuição, evidenciando, assim, a necessidade de se considerar tal custo na escolha da localização do CD.

A Tabela 12 mostra os valores do custo de abastecimento junto com o custo de distribuição e define uma nova localização para um CD caso Lages seja o ponto de abastecimento.

Tabela 12 - Matriz para escolha de um CD com custo de abastecimento

	<b>Joinville</b>	<b>Florianópolis</b>	<b>Chapecó</b>	<b>Lages</b>	<b>Tubarão</b>
<b>Joinville</b>	-	139.584,00	408.904,00	240.600,00	235.760,00
<b>Florianópolis</b>	104.688,00	-	324.180,00	133.260,00	81.228,00
<b>Chapecó</b>	255.565,00	270.150,00	-	160.930,00	263.165,00
<b>Lages</b>	45.112,50	33.315,00	48.279,00	-	31.221,00
<b>Tubarão</b>	88.410,00	40.614,00	157.899,00	62.442,00	-
<b>Soma</b>	493.775,50	344.079,00	530.358,00	356.632,00	375.614,00
<b>\$Abastecimento</b>	706.762,50	521.935,00	756.371,00	-	489.129,00
<b>Total</b>	<b>1.200.538,00</b>	<b>866.014,00</b>	<b>1.286.729,00</b>	<b>356.632,00</b>	<b>864.743,00</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Analisando a tabela anterior, observa-se que a melhor localização do CD é na cidade de Lages. Note-se que o custo de abastecimento nesse caso é zero, pois o CD encontra-se junto à origem do abastecimento. Nesse sentido, nota-se que os valores envolvidos nos custos de abastecimento são bastante elevados, mostrando a importância da análise dessa variável em estudos desse tipo.

Certamente, quando levada em consideração a instalação de mais de um CD, o cálculo se torna mais complexo, pois é necessário definir a quantidade que deverá ser transportada para cada CD e, então, os custos decorrentes dessa operação.

Continuando com o exemplo anterior, considera-se o abastecimento feito a partir de Lages, porém com a escolha de dois CDs.

O processo inicial de cálculo é semelhante ao desenvolvido no problema com dois ou mais CD's sem o custo de abastecimento. Dessa forma, primeiramente, calculam-se todas as combinações possíveis e seus custos de distribuição; em seguida verificam-se, em cada combinação, quais cidades cada um dos CDs irá abastecer e suas respectivas demandas; por fim, somam-se as demandas e tem-se a quantidade do nó de abastecimento até o provável CD.

No exemplo anterior, para escolha de dois CDs sem custo de abastecimento (vide Tabela 10), a melhor solução para instalação dos dois CDs seria nas cidades de Florianópolis e Chapecó. Florianópolis atenderia às cidades de Joinville, Lages e Tubarão, além de sua própria demanda. O CD de Chapecó atenderia somente à própria demanda da cidade. A Tabela 13 mostra os custos de abastecimento envolvidos para atender a tais demandas:

Tabela 13 - Exemplo de cálculo do custo de abastecimento pra escolha de 2 CDs

Demandas (t)	Florianópolis	Chapecó
Joinville	8.000	-
Florianópolis	6.000	-
Chapecó	-	5.000
Lages	1.500	-
Tubarão	3.000	-
<b>Soma (t)</b>	<b>18.500,00</b>	<b>5.000,00</b>
Frete unitário de abastecimento (R\$/t)	22,21	32,19
Custo de Abastecimento (R\$)	410.885,00	160.950,00
Custo de Distribuição (R\$)	213.513,00	0
Custo Total (R\$)	624.398,00	160.950,00
<b>Total (R\$)</b>	<b>785.348,00</b>	

Fonte: Elaborada pelo autor.

O processo deve ser feito para todas as possíveis combinações de dois CD's. A Tabela 14 mostra o resultado para o exemplo das cinco cidades onde se pretende instalar dois CDs com abastecimento partindo da cidade de Lages.

Tabela 14 - Cálculos para escolha de dois CDs com custo de abastecimento

CD		Custo de Distribuição (R\$)	Demandas (t)		Custo Unitário de Abastecimento (R\$/t)		Custo total de Abastecimento (R\$)		Custo de Abastecimento (R\$)	Total (R\$)
					1	2	1	2		
Joinville	Florianópolis	329.494,00	13000	10500	30,08	22,21	391.040,00	233.205,00	624.245,00	953.739,00
Joinville	Chapecó	238.210,50	18500	5000	30,08	32,19	556.480,00	160.950,00	717.430,00	955.640,50
Joinville	Lages	328.060,00	14000	9500	30,08	-	421.120,00	-	421.120,00	749.180,00
Joinville	Tubarão	368.014,00	13000	10500	30,08	20,81	391.040,00	218.505,00	609.545,00	977.559,00
Florianópolis	Chapecó	213.513,00	18500	5000	22,21	32,19	410.885,00	160.950,00	571.835,00	785.348,00
Florianópolis	Lages	341.128,00	17000	6500	22,21	-	377.570,00	-	377.570,00	718.698,00
Florianópolis	Tubarão	433.970,00	14000	9500	22,21	20,81	310.940,00	197.695,00	508.635,00	942.605,00
<b>Chapecó</b>	<b>Lages</b>	<b>436.302,00</b>	<b>5000</b>	<b>18500</b>	<b>32,19</b>	<b>-</b>	<b>160.950,00</b>	<b>-</b>	<b>160.950,00</b>	<b>597.252,00</b>
Chapecó	Tubarão	348.209,00	5000	18500	32,19	20,81	160.950,00	384.985,00	545.935,00	894.144,00
Lages	Tubarão	477.918,00	6500	17000	-	20,81	-	353.770,00	353.770,00	831.688,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com a Tabela 14, pode-se concluir que as melhores localizações para dois CD's, com abastecimento partindo da cidade de Lages, são as cidades de Chapecó e Lages. Chapecó atenderia somente à sua própria demanda, e Lages, às demais cidades.

Note-se que, nesse exemplo, se compararmos a implantação de um ou dois CDs pode-se verificar que manter apenas um CD junto ao ponto de abastecimento é a melhor opção para a empresa. A implantação do segundo se justificaria por motivos outros que não diretamente o custo, mas a diminuição do tempo de atendimento ao cliente, por exemplo.

Pode-se, também, combinar as duas adaptações sugeridas ao modelo: levar em consideração a existência de CDs já implantados e os custos de abastecimento em uma mesma simulação.

Obviamente, a escolha de implantação de um novo CD não deve levar em consideração somente os custos, sejam eles de distribuição ou de abastecimento. Uma análise de redução de tempos de entrega pode-se mostrar muito interessante para análise do nível de serviço.





## 5 PROPOSTA DE SEQUÊNCIA METODOLÓGICA PARA ESTUDOS DE LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO

Um dos objetivos deste trabalho é propor uma sequência metodológica para estudos de localização de Centros de Distribuição. Esta proposta pretende utilizar dados simples, existentes na organização, de forma que seja de fácil aplicação por empresas reais. Os itens que seguem procuram descrever, de forma sucinta e objetiva, os principais passos a serem seguidos na proposta para de sequência metodológica.

### 5.1 DISPOSIÇÕES GERAIS

Os estudos de localização de facilidades, de uma forma geral, seguem uma sequência lógica de estudo de planejamento. Uma etapa importante é conhecer a massa de dados disponibilizada pela empresa que se pretende estudar, e as particularidades do negócio, uma vez que objetivos semelhantes, como implantar um CD, podem levar em consideração diferentes fatores como diminuição dos tempos de entrega ou redução do número de armazéns.

Obviamente, cada organização pode ter uma massa de dados diferente e pequenas adaptações podem ser necessárias na sequência metodológica aqui proposta. Outro ponto a se destacar são os objetivos da organização em instalar um ou mais CD's, os quais podem ser: diminuir custos de distribuição; minimizar tempos de entrega; aumentar o nível de serviço ou ter mais um local de estoque de mercadoria acabada. Enfim, os motivos que levam uma empresa a pensar em estudar a localização de Centros de Distribuição podem ser distintos e, dessa forma, outros critérios podem se fazer necessários, conforme citado anteriormente.

### 5.2 SEQUÊNCIA METODOLÓGICA

Os passos da proposta metodológica apresentados a seguir podem ou não ser seguidos na íntegra, dependendo dos dados disponíveis em cada instituição.

1. **Levantamento de dados:** a primeira etapa consiste no levantamento de dados e necessidades para a realização do estudo. Alguns dados estão dentro da organização, outros, como os necessários para projeções, podem estar em organismos externos, como Produto Interno Bruto (PIB) e dados do censo. Há ainda que se levar em consideração a necessidade dos sistemas computacionais para realizar o

estudo. Estudos de pequeno porte, com pequeno número de nós envolvidos, podem ser resolvidos até mesmo à mão ou com auxílio de planilhas de cálculo eletrônicas. Porém, problemas maiores, como o demonstrado no estudo de caso, necessitam de uma ferramenta mais apurada. A lista que segue diz respeito a informações que devem existir dentro da empresa e que são de grande valia para estudos de localização de centros de distribuição:

- Localização do parque fabril;
- Localização dos clientes atuais;
- Plano de expansão para novos clientes;
- Volume transportado para cada cliente atual;
- Volume futuro a ser transportado;
- Plano de crescimento da empresa, caso exista;
- Histórico de vendas;
- Custos de transporte;
- Lista de produtos;
- Valor agregado dos produtos; e
- Volume dos produtos.

2. **Zoneamento:** cabe, nesta etapa, a definição das zonas de tráfego do estudo e seus respectivos centroides. Vale colocar que zona de tráfego é a menor unidade de área representativa da área de estudo, por exemplo: ao se estudar o estado de Santa Catarina, pode-se ter como zonas de tráfego as microrregiões homogêneas definidas pelo IBGE para o estado. Além disso, é necessário que cada zona de tráfego tenha um centroide, que é o ponto onde se imagina que ocorra a maior quantidade de atividades da zona de tráfego. É no centroide que chegam ou partem todas as viagens geradas ou atraídas pela zona. Normalmente adotam-se zonas de tráfego já conhecidas - estados, microrregiões ou cidades -, e o centroide é definido de acordo com critérios relevantes para o estudo, por exemplo: o centroide de uma microrregião pode ser a cidade mais populosa da microrregião. São nos centroides que serão agregadas as demandas atuais e futuras definidas nos passos 3 e 4.

3. **Análise da demanda atual:** o primeiro passo é analisar o histórico de vendas da empresa, de preferência dos últimos 12 meses, para que se possa identificar as sazonalidades, caso

existam. Deve-se mapear o mercado atual por estado e/ou cidades, se forem representativas.

4. **Projeção da demanda:** entendendo como se comporta a demanda atualmente, deve-se extrapolar e projetar, de acordo com as tendências, o que acontecerá com essa demanda no futuro. Pode-se extrapolar a demanda para os próximos cinco anos, por exemplo. Para isso é imprescindível contar com auxílio do pessoal de *marketing* e vendas, de preferência tomando-se como base o Planejamento Estratégico de marketing, se houver. Pode-se, também, optar por trabalhar com três cenários de demanda distintos: tendencial, otimista e pessimista. Note-se que, caso a empresa não tenha um plano de ataque diferenciado para as diferentes regiões da área de atuação, a projeção poderá indicar que todas as demandas crescerão à mesma taxa e, dessa forma, a análise de cenários de demanda não é necessária, pois nada mudará, proporcionalmente, ao longo do tempo.

5. **Levantamento de custos logísticos:** deve-se obter também os custos totais logísticos de armazenagem e transporte. Podem-se levar em consideração as variáveis de fretes, transbordos, custo de imobilização de capital, seguro, perda de carga e impostos. Obviamente serão levados em consideração os custos mais relevantes para a empresa e dos quais se tenham informações.

6. **Montagem de rede:** nesta etapa deverá ser levantada a rede que servirá de base para a alocação dos fluxos. Tal rede deve permitir acesso a todas as zonas de tráfego e seus centroides definidos anteriormente. A definição da rede depende também de definições acerca dos modais que serão levados em consideração no estudo. Pode-se ter estudo que contemple somente o modal rodoviário, outro que pretende dar ênfase ao uso de ferrovias, necessitando, assim, de uma malha multimodal. Vale ressaltar que a definição da rede é de suma importância para que os custos de transporte simulados nessa rede sejam coerentes com a realidade.

7. **Nível de serviço:** outro item importante é a identificação do “Nível de Serviço” prestado atualmente e do “Nível de Serviço” pretendido no futuro, para tornar a empresa competitiva. Pode-se

avaliar o nível de serviços sob a ótica do tempo decorrido entre a saída do pedido da empresa e sua chegada até o cliente.

8. **Cenários de oferta:** eventuais alterações na rede viária atual podem ser levadas em consideração na montagem de cenários de oferta caso se mostre interessante. Um exemplo é a ferrovia Norte-Sul que, quando concluída, poderá alterar sobremaneira os custos de transportes de determinados produtos no país. Assim, caso o estudo leve em consideração o uso do modal ferroviário, pode-se fazer necessária a criação de cenários futuros de infraestrutura.

9. **Matriz O/D:** com base nas informações levantadas nos passos 2 e 3, será possível elaborar uma matriz origem-destino atual e futura que será alocada sobre a rede definida no passo 7. A alocação pode ser feita com minimização de tempo, distância ou custos logísticos em alocações do tipo tudo ou nada. As matrizes origem-destino atuais nada mais são do que a compilação dos dados da empresa, por exemplo, do banco de dados de notas fiscais, de acordo com o zoneamento proposto. Para a elaboração da matriz futura, normalmente se utiliza a matriz atual como base e a projeta-se com os critérios definidos na etapa de projeção. Vale salientar que técnicas de planejamento de transportes, como o clássico modelo de 4 Etapas (geração, distribuição, divisão e alocação), podem ser utilizadas nessa e nas etapas futuras.

10. **Simulações:** as simulações são feitas em duas etapas: obtenção da matriz de custos e simulação do p-mediana. Na simulação para obtenção da matriz de custos, deve-se entrar em um simulador logístico com a matriz origem-destino unitária (como se cada par produzisse e consumisse apenas uma unidade do produto) de todos os nós que podem receber o CD para todos os nós consumidores. A saída dessa simulação é a matriz de custos unitários que é entrada, juntamente com a matriz de demandas, no p-mediana. A simulação do p-mediana é realizada de acordo com as entradas anteriores e com a quantidade de CD's que se deseja localizar. Sua saída é a melhor localização do CD e quais os nós que são abastecidos por ele, podendo trazer, também, os custos envolvidos. Caso se esteja trabalhando com cenários tanto de oferta como de demanda, o

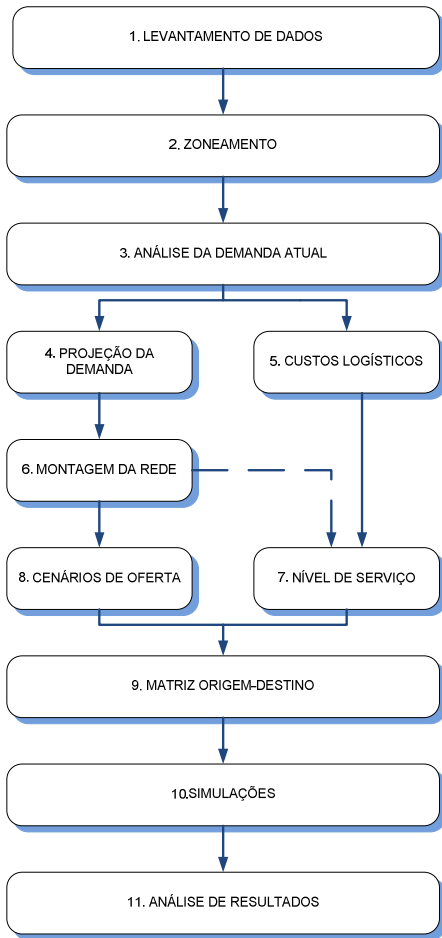
processo de simulação deve ser realizado para cada combinação possível de cenário de oferta com cenário de demanda.

**11. Análise de sensibilidade do número de CD's:** nesta etapa deve-se realizar simulações com diferentes quantidades de CD's até o ponto em que a quantidade de CD's seja suficiente para elevar o nível de serviço ao patamar desejado. Porém, deve-se ter em mente que o foco do modelo de p-medianas é minimizar determinada variável de impedância na distribuição de cargas, como o custo, caso o nível de serviço desejado no estudo seja o principal foco do estudo pode ser necessária a utilização do modelo de p-centros, que maximiza a cobertura de um determinado ponto. Vale ressaltar que essa etapa só será realizada caso não se tenha claramente definida a quantidade de CD's que se deseja implantar.

**12. Análise de resultados:** esta última etapa consiste em avaliar os resultados. A avaliação pode ser feita quanto à qualidade das simulações - se estão próximas a um resultado esperado, têm coerência -, bem como em relação ao impacto causado pela implantação de um novo CD na distribuição da empresa.

O fluxograma apresentado na Figura 10 mostra a sequência de execução desses passos e a interdependência existente entre eles.

Figura 10 - Fluxograma da proposta de sequência metodológica



Fonte: Elaborada pelo autor.

Durante o estudo de caso realizado neste trabalho e apresentado no capítulo que segue, notar-se-á que nem todos os passos foram seguidos por não se mostrarem necessários no caso.

## 6 ESTUDO DE CASO

Com o intuito de validar a proposta metodológica descrita no capítulo anterior e de testar de forma completa o uso do modelo de p-medianas adaptado, optou-se por realizar um estudo de caso, imprimindo, assim, maior realidade ao trabalho. O estudo de caso foi feito com base em dados de uma empresa real.

A pedido da empresa, sua identidade será preservada, assim como os dados brutos repassados para o estudo. Somente serão mostrados aqui os dados já processados e a forma de processamento. Vale colocar que, dependendo de cada empresa, pode-se ter mais ou menos dados para o desenvolvimento do estudo. Assim, o modelo pode ficar mais ou menos detalhado.

### 6.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Para o estudo de caso escolheu-se uma empresa que a partir desse momento assumirá o codinome Alpha, cujo parque fabril está instalado na cidade de Joinville, no estado de Santa Catarina (Figura 11), e que produz artigos de alto valor agregado para uso em construção civil.

Figura 11 - Localização da empresa em estudo



Fonte: Elaborada pelo autor.

A empresa trabalha em um mercado de grande concorrência, e em que a necessidade do comprador da mercadoria é imediata. Caso o

cliente chegue à loja e não encontre o produto desejado, ele normalmente compra produtos da concorrente, o que pode fazer com que a empresa perca um cliente cativo ou deixe de conquistar novos clientes. Por isso, a correta localização de um Centro de Distribuição torna-se tão importante, pois além de minimizar custos de transporte, ele deve, prioritariamente, atender os clientes no menor tempo possível. Isso se torna ainda mais importante depois que grandes atacadistas e varejistas adotaram o conceito de *just in time*, descrito no item 2.2.5.

### **6.1.1 Caracterização do problema**

A empresa Alpha movimentou no ano de 2010 mais de 2.200 toneladas de produtos acabados em mais de 30.000 operações comerciais entre mais de 2.800 municípios brasileiros. A empresa está localizada na cidade catarinense de Joinville, e utiliza o serviço de transportadoras para levar suas mercadorias desde a fábrica até seus clientes.

Dessa forma, pode-se dizer que junto ao parque fabril da empresa existe uma estrutura de CD responsável por processar, separar, embalar, endereçar e despachar os pedidos dos clientes. Note-se que todos os clientes, independente do estado brasileiro em que se encontrem, são atendidos diretamente desse CD junto à empresa.

Desde sua criação, a empresa preza pelo pronto atendimento a seus clientes, e entende que fazer a mercadoria chegar às lojas no menor tempo possível é fundamental em um mercado em que há pouquíssima fidelidade à marca. Além disso, é cada vez mais comum que os clientes queiram manter seus estoques nos níveis mais baixos possíveis, acarretando, assim, maior responsabilidade à Cadeia de Distribuição da empresa que deve manter seus clientes abastecidos.

Para melhorar sua Cadeia de Distribuição, a empresa pretende instalar um CD fora de seu parque fabril e, tomada essa decisão, a primeira pergunta a surgir é: aonde instalar o CD? Obviamente a redução de custos de distribuição é importante, porém a redução do tempo de entrega é o principal foco. Atender ao cliente em um tempo menor, minimizando os custos, é a resposta procurada ao problema de localização de um Centro de Distribuição para a empresa Alpha.

O dilema aumento do nível de serviço versus minimização de custos logísticos pode ser resolvido em duas etapas nesse caso. O aumento do nível de serviço, com a diminuição do tempo de entrega, é feito colocando-se um CD mais próximo aos clientes. Empiricamente pode-se concluir que quanto mais CD's houver, mais próximas as mercadorias estarão de seus clientes, e menor será o tempo para que



elas sejam entregues. No entanto, um grande número de CD's acarretará em um aumento significativo dos gastos da empresa seja com a aquisição e manutenção da estrutura do CD ou com a quantidade maior de produtos estocados.

Uma vez tomada a decisão de que a empresa deseja ter um Centro de Distribuição, podem-se minimizar os custos logísticos na operação de distribuição entre o CD e os clientes escolhendo-se uma localização adequada. Sendo assim, nesse estudo de caso, parte-se do princípio de que a empresa já tomou a decisão de instalar o CD restando a necessidade de se estudar a localização deste de forma que se minimizem os custos logísticos.

### **6.1.2 Premissas**

Algumas premissas foram adotadas para a resolução do problema da empresa Alpha, a saber:

- Somente foram considerados clientes e vendas nacionais. Apesar de existirem clientes fora do Brasil, eles não foram levados em consideração no estudo.
- Adotaram-se, como zoneamento, as microrregiões homogêneas do IBGE, ou seja, agruparam-se em cada microrregião todas as vendas feitas para seus municípios membros.
- O centroide da microrregião foi escolhido como sendo a cidade com maior volume de compras, em toneladas. Entende-se como centroide o ponto de onde se partem ou chegam as viagens.
- A possibilidade do uso do modal ferroviário ou da cabotagem não foi considerada por não ser interessante da empresa.
- O modal hidroviário somente foi utilizado na região Norte do país, onde não existe a possibilidade de se chegar sem o uso de hidrovia.
- Não foram considerados custos de transbordo do modal rodo para o hidro ou vice-versa.
- A impedância considerada para o cálculo de p-medianas foi, unicamente, o frete.
- Por não se conhecer o plano estratégico da empresa, considerou-se que o crescimento das vendas no futuro será uniforme em todo o país e, desta forma, a localização ideal do CD não se altera ao longo do tempo.

- Este estudo se limita à macrolocalização do CD, ou seja, será indicada a microrregião mais favorável a receber o CD da empresa Alpha.

### 6.1.3 Dados disponíveis

Para a realização do estudo de caso, a empresa disponibilizou os seguintes dados referentes ao ano de 2010:

- Lista de clientes;
- Endereço dos clientes;
- Volume de vendas por clientes em peso e valor; e
- Valores de fretes pagos por nota fiscal.

Essas informações foram suficientes para alimentar o modelo de alocação de fluxos em rede, SisLog, e para alimentar o modelo p-medianas. Os itens a seguir trazem os resultados dos processamentos dos dados descritos anteriormente.

## 6.2 ZONEAMENTO

Conforme citado no capítulo 5, referente à proposta de seqüência metodológica, o zoneamento é a divisão da área de estudo em áreas menores, ou seja, a menor unidade de área do estudo. É comum se utilizar de zoneamentos já existentes como as micro e mesorregiões homogêneas determinadas pelo IBGE.

É importante salientar que quanto menor a zona de tráfego, mais detalhado será o estudo e, por consequência, mais acurado o resultado. No entanto, zonas de tráfego menores implicam em matriz de distribuição muito maiores, que demandam outros recursos, como capacidade computacional e, principalmente, tempo. Dessa forma, sempre se procura contrabalançar as perdas e os ganhos.

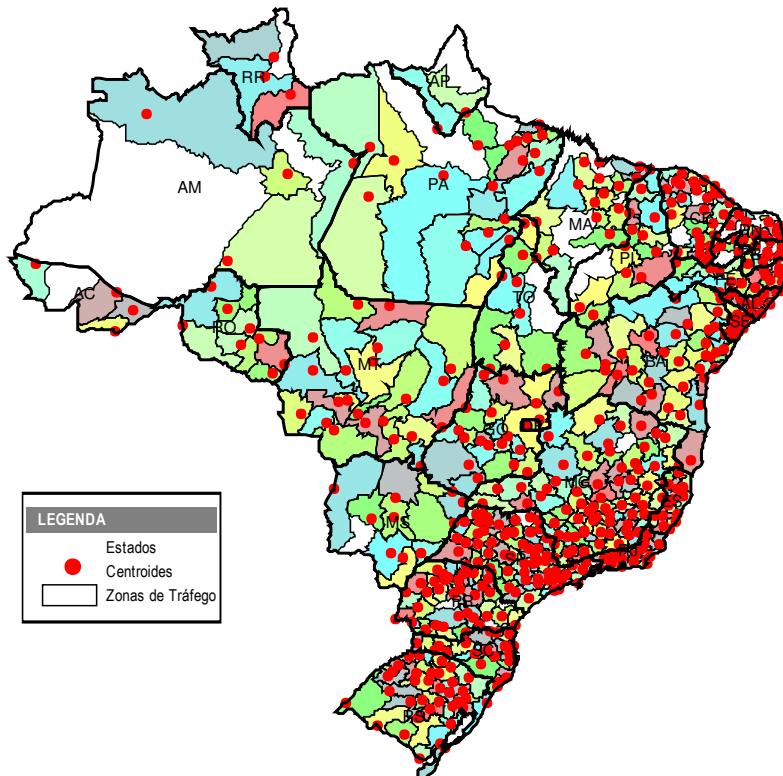
No estudo da empresa Alpha, há mais de 8.000 clientes espalhados em 1.700 municípios pelo Brasil. Caso fosse escolhido município como zona de tráfego, ter-se-ia uma matriz de 1.700x1.700 elementos.

Com o intuito de diminuir o tamanho dessa matriz de entrada, optou-se, para o estudo da empresa Alpha, pelo zoneamento em microrregiões. Nesse caso, têm-se 497 microrregiões envolvidas no estudo em todos os estados brasileiros.

Uma vez determinado o zoneamento, é necessário definir, para cada zona de tráfego, um centroide. O centroide é o ponto, dentro da zona de tráfego (área), responsável por agrupar toda a demanda ou toda a produção de viagens.

Para este estudo foi adotado como centróide o ponto relativo à cidade da microrregião que tem a maior demanda por produtos da empresa. A Figura 12 mostra o zoneamento e os respectivos centróides para o estudo de macrolocalização de CD para a empresa Alpha.

Figura 12 - Zoneamento e centróides do estudo

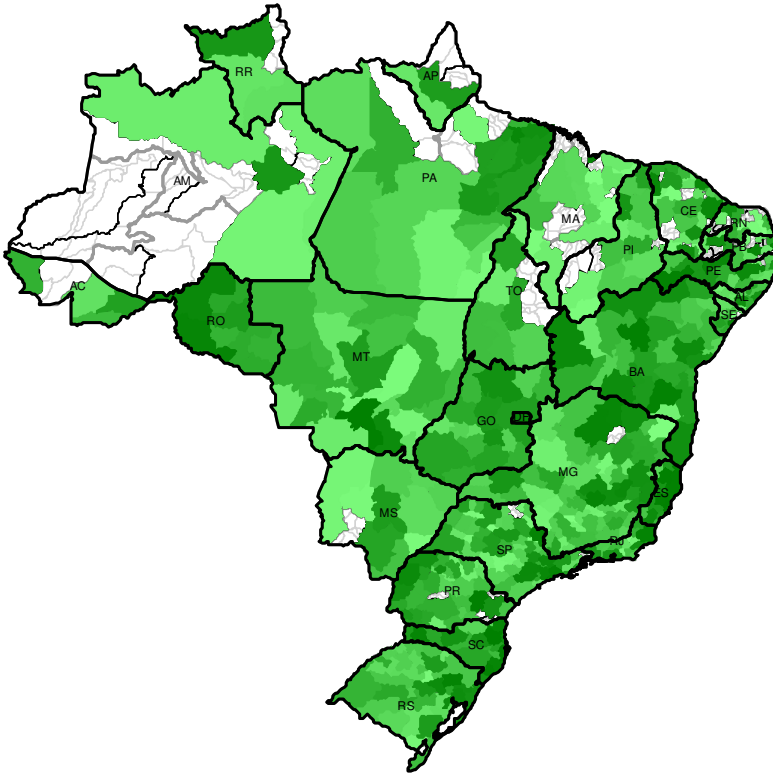


Fonte: Elaborada pelo autor.

### 6.3 ANÁLISE DA DEMANDA ATUAL

A análise das vendas, apesar de simples, é importante para se conhecer como estão distribuídas as demandas ao longo da área de estudo, neste caso, o Brasil. A análise foi feita para o ano de 2010 a partir de dados percentuais, preservando-se os dados de vendas da empresa. A Figura 13 agrega as quantidades vendidas em microrregiões e mostra a distribuição espacial das vendas da empresa Alpha.

Figura 13 – Distribuição das demandas na área de estudo



Fonte: Elaborada pelo autor.

Note-se que a empresa tem clientes em quase todas as microrregiões do país, e de forma bem distribuída. No mapa, quanto mais forte o tom de verde maior a demanda. Mais uma vez, a figura mostra a necessidade de um estudo cuidadoso para a instalação de um CD.

#### 6.4 PROJEÇÃO DA DEMANDA

Não foi considerada, para o estudo de macrolocalização de CD's da empresa Alpha, a alteração da demanda ao longo do tempo. Considerou-se que o crescimento da demanda se dará de forma homogênea em todas as zonas de tráfego. Assim, considerando essa

premissa verdadeira, os resultados alcançados nas simulações com base nas demandas atuais não sofrem alteração caso as demandas cresçam.

Essa simplificação se fez necessária porque não se teve acesso ao plano de expansão ou plano estratégico da empresa.

Uma projeção alternativa poderia ser feita com base no histórico de vendas correlacionado com o histórico do PIB regionalizado da construção civil, por exemplo. Porém, uma análise inicial mostrou que essa projeção não alteraria a indicação da macrolocalização, pois a aderência das demandas ao PIB da construção civil não sofre grandes variações de região para região. Além disso, a projeção seguiria a projeção existente do PIB nacional, que apontaria um crescimento homogêneo para todo o Brasil. Dessa forma, optou-se por não realizar a projeção da demanda, acreditando-se que os resultados alcançados não serão afetados negativamente.

## 6.5 CUSTOS LOGÍSTICOS

O modelo de p-medianas necessita de uma matriz de impedâncias com origem em todos os possíveis CD's e destino em todos os pontos de consumo. No tocante a esse estudo de caso, implica em obter-se uma matriz de impedância de todos para todos, considerando todos os pontos de demanda do produto.

Conforme já citado anteriormente, será utilizado como impedância, neste estudo de caso, o frete. Como é preciso calcular os fretes de todos os pares da matriz de impedância, deve-se calcular com base nos dados disponibilizados pela empresa, um frete médio. O sistema que irá fazer o cálculo dos valores de frete total (custo de transporte) é o SisLog, que necessita de fretes unitários de entrada em R\$/txkm, ou seja, o valor para transportar uma tonelada do produto em uma distância de um quilômetro.

O SisLog possibilita a entrada de diferentes valores de frete unitário para distintas faixas de distância totais percorridas. Em outros termos, se a distância total percorrida para um determinado par origem-destino for inferior a 200 km, o frete unitário utilizado no cálculo será um; se a distância total for superior a 200 km, o frete unitário utilizado será outro. A explicação para tal diferenciação reside na diluição dos custos fixos de transporte. Em distâncias maiores, os custos fixos são mais diluídos, diminuindo o valor do frete unitário ao passo que distâncias menores concentram os custos fixos.

Para exemplificar melhor tal fato, basta observar a análise feita a partir de dados reais de frete disponíveis no *site* do Sifreca para o

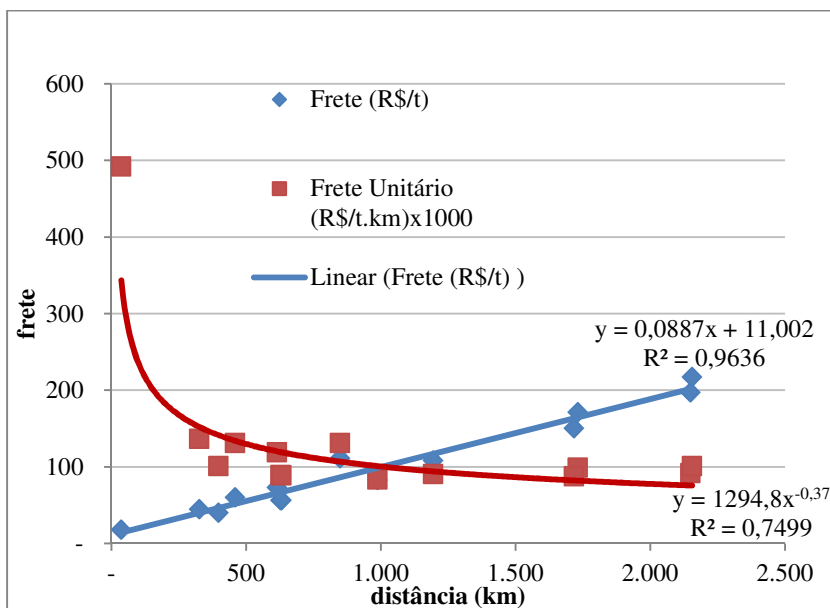
transporte de soja (período de 22/08/2011 a 26/08/2011). A Tabela 15 mostra os dados coletados, e o Gráfico 7 ilustra esses dados.

Tabela 15 - Tabela de dados de frete para transporte de soja

<b>Origem</b>	<b>UF</b>	<b>Destino</b>	<b>UF</b>	<b>Distância (km)*</b>	<b>Frete (R\$/t)</b>	<b>Frete Unitário (R\$/t.km) x 1000</b>
		Campo				
Caarapó	MS	Mourão	PR	396,83	40,00	100,8
Caarapó	MS	Paranaguá	PR	987,17	82,33	83,4
		Rio				
Caibaté	RS	Grande	RS	627,10	56,00	89,3
Campo Alegre de Goiás	GO	Paranaguá	PR	1.193,37	108,00	90,5
Campo Alegre de Goiás	GO	Santos	SP	847,98	111,00	130,9
Campo Mourão	PR	Paranaguá	PR	613,96	73,00	118,9
Campo Novo do Parecis	MT	Araucária	PR	2.148,31	197,00	91,7
Campo Novo do Parecis	MT	Cambé	PR	1.730,77	171,00	98,8
Campo Novo do Parecis	MT	Paranaguá	PR	2.154,92	217,00	100,7
		Rio				
Campo Santo	RS	Grande	RS	631,34	56,00	88,7
		Alto				
Campo Verde	MT	Araguaia	MT	326,01	44,50	136,5
Campo Verde	MT	Guarujá	SP	1.716,25	150,00	87,4
Cascavel	PR	Araucária	PR	458,02	60,00	131
Cascavel	PR	Toledo	PR	36,00	17,71	491,9

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados do Sifreca de 2011.

Gráfico 8- Fretes



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do Sifreca de 2011.

Note-se que o Gráfico 7 tem duas curvas: uma de frete (R\$/t) na cor azul e outra de frete unitário (R\$/txkm)x1000 na cor vermelha. A curva azul, que representa os fretes (R\$/t), de acordo com sua equação linear, intercepta o eixo y no valor de 11,002, ou seja, para  $x=0$ ,  $y=11.002$ . Assim, mesmo que não exista distância percorrida, há um custo a ser pago. Pode-se dizer que esse valor é o custo fixo do transporte. Independente da distância percorrida, deve-se pagar esse valor. O incremento do valor de frete com a distância se dá pelo aumento dos custos variáveis, por exemplo, as despesas com combustíveis que são diretamente proporcionais à distância percorrida.

A curva vermelha, que representa os fretes unitários (R\$/txkm), mostra claramente a diluição dos custos fixos ao longo da distância. Há fretes unitários maiores para distâncias menores e fretes unitários mais baixos para distâncias maiores. O SisLog leva em consideração tal comportamento. Na sua modelagem, pode-se entrar com 5 diferentes valores de fretes unitários para o modal rodoviário nas seguintes faixas de distância:

- 0 – 200 km;

- 201 – 500 km;
- 501 – 800 km;
- 801 – 1.100 km; e
- Acima de 1.100 km.

Com isso, a análise de fretes a ser feita partindo-se do banco disponibilizado pela empresa, deve resultar em fretes unitários (R\$/txkm) para cada uma das faixas indicadas anteriormente.

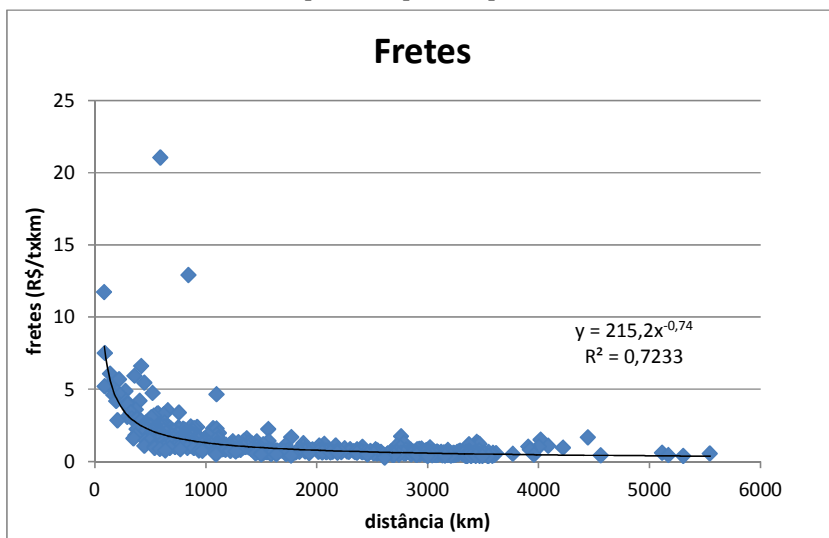
O transporte de distribuição da empresa tem uma característica especial: é um transporte de carga fracionada. Dessa forma, o peso a ser transportado não é a única variável na formação do frete, o volume e o número de pacotes também são importantes. No entanto, essas informações não foram disponibilizadas pela empresa. As informações disponíveis para cálculo do frete unitário médio eram quantidade (kg) e valor do frete (R\$) para cada venda. Dessa forma, como cada venda é feita a um determinado cliente, pode-se estimar também as distâncias.

Para minimizar a distorção causada pela falta da informação de volumes, optou-se por agrupar todas as vendas feitas a uma determinada microrregião (soma dos pesos e dos fretes pagos) ao longo do ano de 2010. Adotou-se como representante de cada microrregião (centroide) a cidade com o maior peso comprado, e assim pôde-se estimar a distância entre a fábrica e o centroide de cada microrregião.

Conhecendo o destino da carga, a quantidade total, o valor total pago de frete e a distância, pode-se calcular o frete unitário. O Gráfico 9 mostra os fretes unitários calculados para cada microrregião.



Gráfico 9 - Fretes calculados para a empresa Alpha

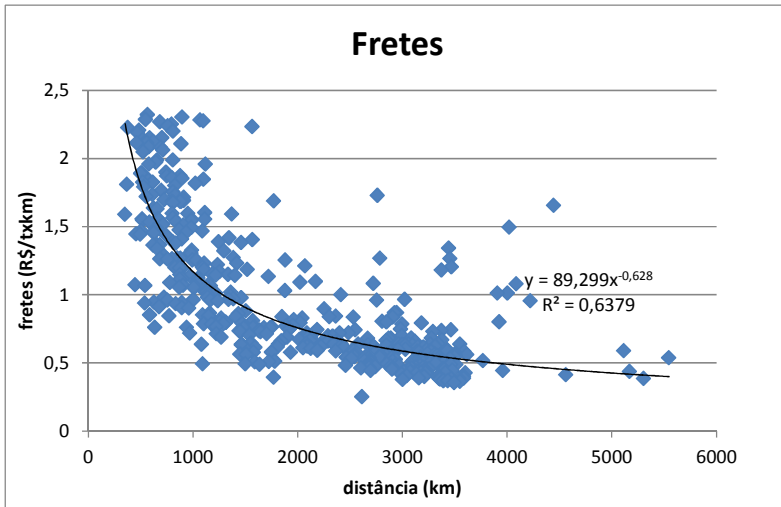


Fonte: Elaborada pelo autor.

Analisando o Gráfico 9, pode-se identificar facilmente a existência de dados espúrios. A eliminação desses dados se deu de duas formas: método dos quartis e análise visual.

O método dos quartis consiste basicamente em analisar o quão distante estão os extremos da base de dados (mínimo e máximo) do primeiro e do terceiro quartil (HIMMELBLAU, 1970). O Gráfico 10 traz fretes sem os dados considerados espúrios pelo método dos quartis.

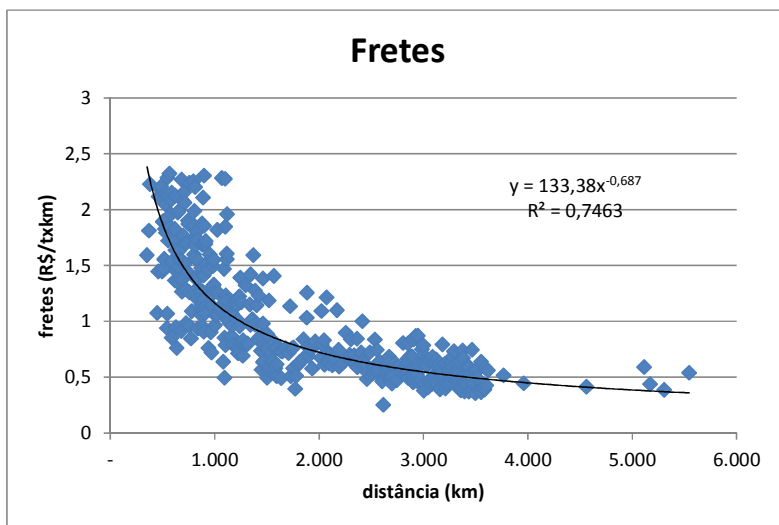
Gráfico 10- Fretes sem dados espúrios identificados no método dos quartis



Fonte: Elaborada pelo autor.

Note-se que, com a retirada dos dados considerados espúrios pelo método dos quartis, o coeficiente  $R^2$  da equação diminuiu, e é possível visualizar outros dados que não se comportam de acordo com o esperado. Dessa forma, uma análise visual retirou da amostra esses pontos. O Gráfico 11 mostra o resultado da análise de dados espúrios, bem como a equação de regressão que será utilizada para o cálculo dos fretes.

Gráfico 11 - Valor final de fretes



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com base na equação de regressão obtida no Gráfico 11, pode-se calcular os fretes que serão utilizados para entrada no SisLog. A Tabela 16 apresenta os cálculos.

Tabela 16 - Fretes calculados (R\$/t x km)

Faixa de distância do SisLog (km)	Distância média (km)	Frete calculado (R\$/txkm)
Rodovia - 0-200	100	5,6376
Rodovia - 201-500	350	2,3841
Rodovia - 501-800	650	1,5582
Rodovia - 801-1.100	950	1,2006
Rodovia - 1.001+	1.500	0,8772

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com isso, temos os dados de frete necessários para entrada no SisLog.

## 6.6 MONTAGEM DA REDE

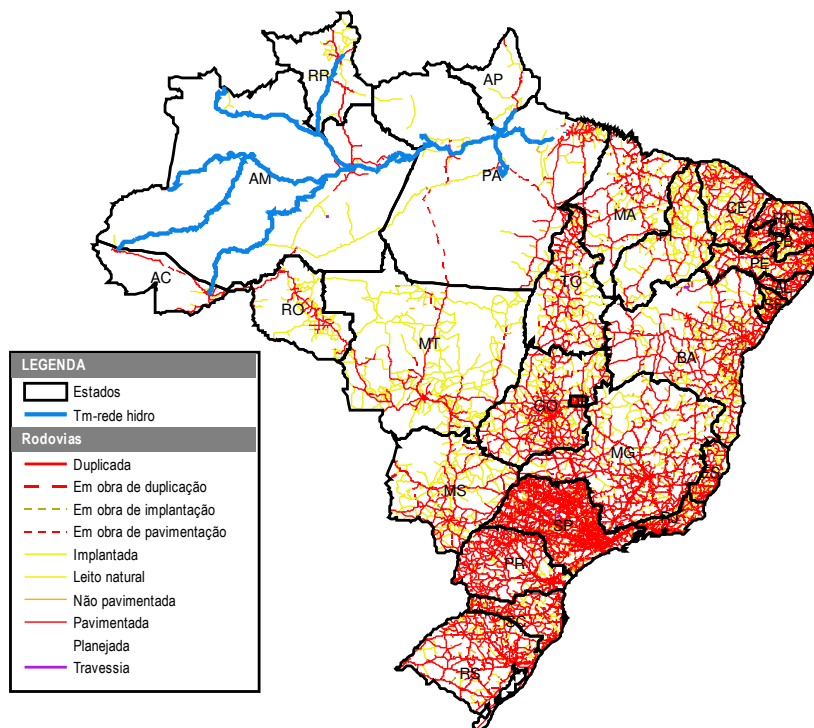
A montagem da rede para o estudo de macrolocalização de CD's da empresa Alpha foi relativamente simples. As transportadoras que realizam a distribuição para a empresa utilizam basicamente o modal

rodoviário, que só não é utilizado em casos onde não é possível se chegar pelas rodovias, o que acontece em algumas zonas de tráfego da região Norte do país.

Sendo assim, a rede foi montada com todas as rodovias da malha nacional já existente no SisLog, complementada por alguns rios da Bacia Amazônica. Note-se que o modal ferroviário, bem como a navegação de cabotagem, não foram levados em consideração por não fazerem parte da realidade da empresa e, também, como visto no início deste trabalho, porque os produtos da empresa não são característicos do uso desses tipos de modal.

A Figura 14 mostra a rede viária utilizada nas simulações para o estudo de caso.

Figura 14 - Rede viária utilizada no estudo de caso



Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.

## 6.7 NÍVEL DE SERVIÇO

Como já citado anteriormente, a empresa realiza hoje toda a sua distribuição de produtos acabados a partir de seu parque fabril, localizado em Joinville (SC), com auxílio de transportadoras. Para que se possam comparar os valores obtidos nas simulações de localização do novo CD, a situação atual da empresa será simulada com base nas mesmas premissas utilizadas para as simulações dos novos CD's.

Dessa forma, será realizada uma simulação de distribuição de cargas que atenda a todas as demandas, agrupadas em microrregiões, partindo de Joinville (SC). Os fretes utilizados serão os mesmos utilizados nas simulações para determinação de novos CD's, cujos cálculos estão descritos no item 6.5, relativo à análise dos custos logísticos. Os volumes transportados são aqueles constantes na análise da demanda atual (item 6.3).

Da simulação realizada para a situação atual, pôde-se obter três informações básicas:

- O valor total estimado gasto com transporte de distribuição;
- Ilustração com as prováveis rotas utilizadas; e
- Tempo gasto no transporte.

Destas informações, as mais relevantes são: o valor total gasto com transporte, que será utilizado para comparação com os resultados provenientes do uso de mais um CD, e o tempo gasto no transporte, que possibilitará uma análise do nível de serviço.

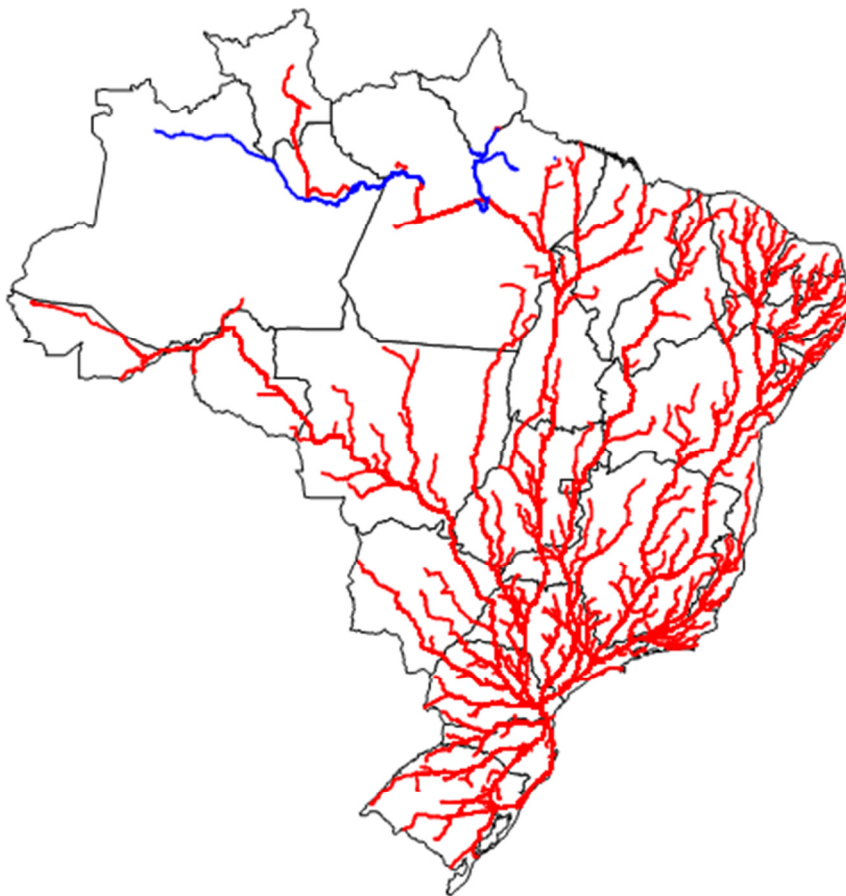
A Tabela 17 mostra os valores e os tempos de transporte, enquanto a Figura 15 mostra um mapa com as possíveis rotas utilizadas.

Tabela 17 – Distâncias, tempos e custos de transporte atuais

	<b>Distância (km)</b>	<b>Tempo (h)</b>	<b>Custo de Distribuição (R\$)</b>
<b>Total</b>	880.616,23	17.537,95	3.440.872,34
<b>Média</b>	1.775,44	35,36	6.937,24

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 15 - Possíveis rotas utilizadas na distribuição atual



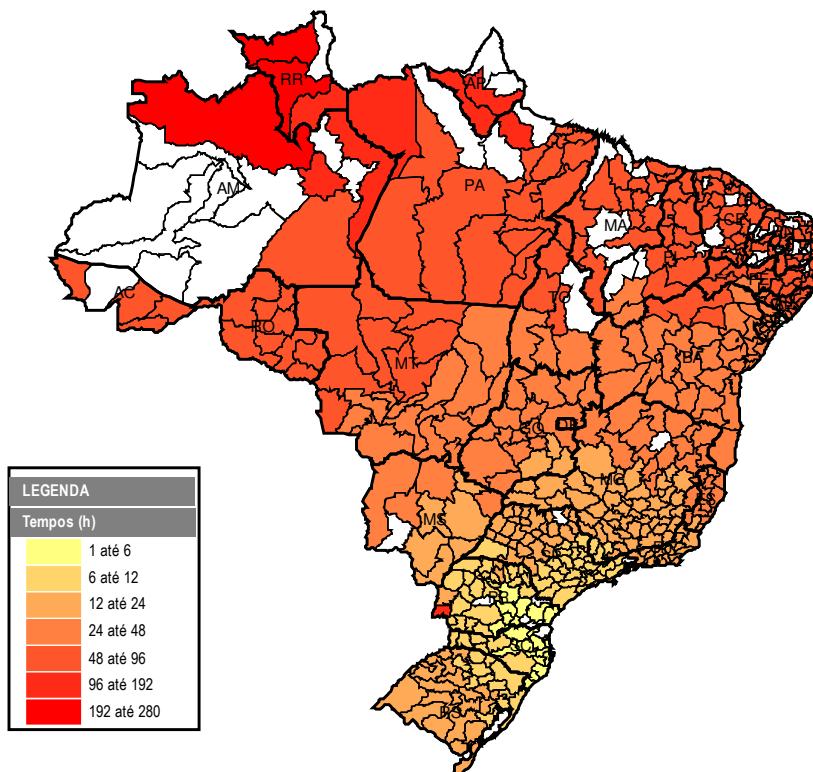
Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.

Note-se que os valores apresentados na Tabela 17 mostram um panorama geral da distribuição da empresa Alpha. Os dados de maior importância da tabela são: o custo total de transporte, R\$ 3.440.872,34; o tempo total gasto com o transporte (considerando apenas uma viagem para cada destino de demanda), 17.537,95 horas; e o tempo médio de 35,36 horas, que mostra que a mercadoria, após deixar a empresa, leva cerca de 35 horas para chegar até o cliente.

A distância média percorrida, de 1.775,44 km, mostra que os clientes estão relativamente longe da empresa.

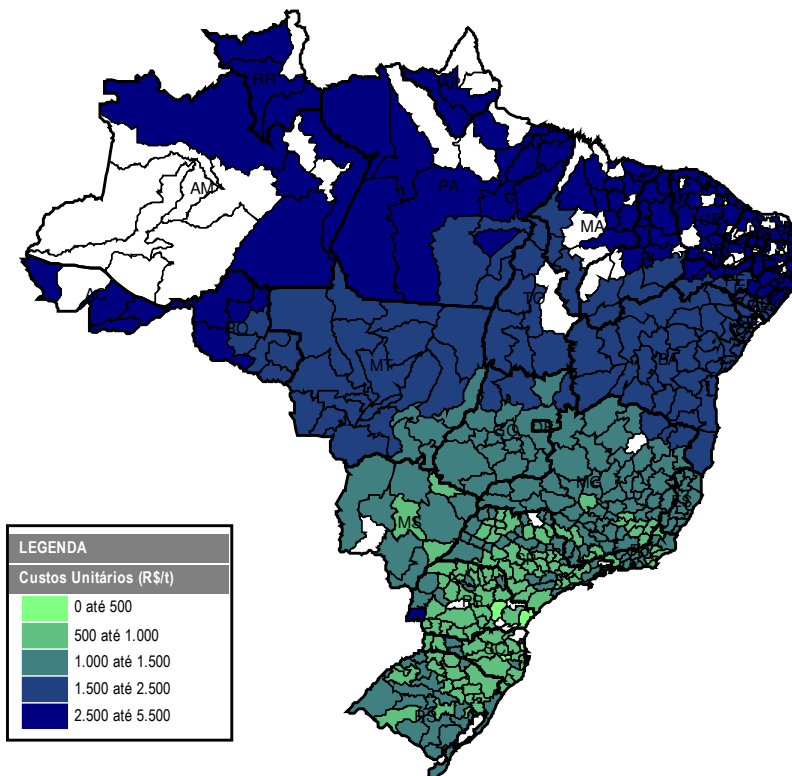
Com o resultado da simulação do estado atual, duas outras ilustrações puderam ser confeccionadas mostrando tempos de atendimento e custos unitários de distribuição (respectivamente na Figura 16 e Figura 17). Entende-se por tempo de atendimento o tempo gasto com o transporte de distribuição, ou seja, o tempo decorrente entre a saída da mercadoria da empresa em Joinville (SC) e o recebimento pelo cliente. O custo unitário de distribuição é o valor pago pelo transporte de uma tonelada do produto de sua origem - no caso Joinville - até o cliente.

Figura 16 - Tempos de distribuição (h)



Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.

Figura 17 - Custos unitários de distribuição (R\$/t)



Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.

As simulações demonstradas nos itens que seguem mostram seus resultados da mesma forma que foram apresentados os resultados para a situação atual.

## 6.8 CENÁRIOS DE OFERTA

Para o estudo da empresa Alpha, não foi considerada a possibilidade de cenários de oferta. Considerou-se que a rede viária definida anteriormente não sofrerá alterações significativas a ponto de alterar a matriz de custos de distribuição da empresa.

## 6.9 MATRIZ ORIGEM – DESTINO

Levando-se em consideração o zoneamento proposto anteriormente, existem 497 nós de consumo para o estudo da empresa



Alpha. Se retomada outra premissa do trabalho (de que todo nó de consumo é um potencial CD), existem 497 possíveis localizações para os CD's.

Assim, a matriz de entrada no modelo de p-medianas deve conter, nas origens, todos os nós possíveis de receberem um CD, e nos destinos, todos os nós de demanda.

O resultado dessa combinação é uma matriz de 497x497 elementos. Considerando que a diagonal dessa matriz é nula, pois não há transporte de mercadoria de uma zona de tráfego para ela mesma, tem-se 246.512 pares origem-destino distintos.

Vale lembrar que o modelo de p-medianas adotado leva em consideração o custo total, ou seja, o custo unitário multiplicado pelo fluxo. Assim, o valor encontrado para o custo de transporte de A para B, por exemplo, é diferente do custo encontrado de B para A uma vez que as demandas de A e de B são distintas.

## 6.10 SIMULAÇÕES

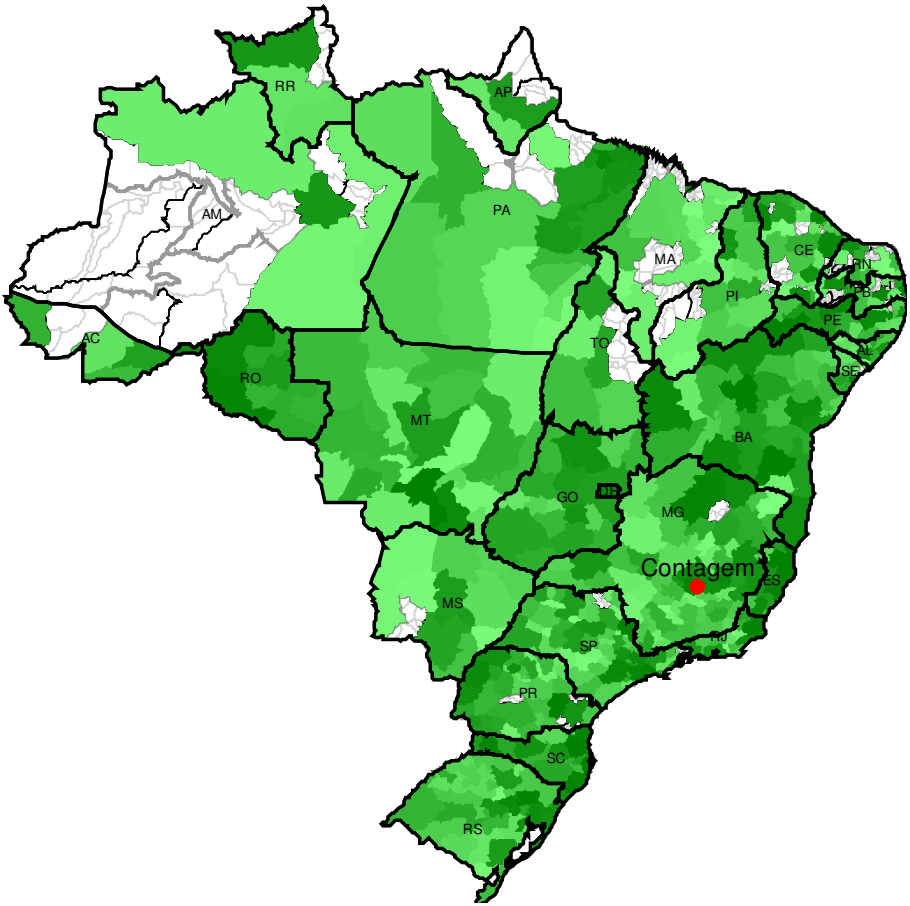
As simulações com auxílio do p-medianas foram feitas de acordo com as premissas colocadas anteriormente e utilizando-se os fretes e demandas demonstradas em itens passados.

### 6.10.1 Simulação de um CD

A primeira simulação realizada foi a mais simples possível: a escolha de um CD que atenda a todas as demandas. Essa simulação não leva em consideração a fábrica como um CD, mas indica o posicionamento de um CD que melhor atenda, sozinho, a todas as demandas da empresa. Outra interpretação válida para essa simulação seria: caso a empresa ainda não existisse e estivesse escolhendo um local para construir seu parque fabril, a melhor alternativa para minimização de seus custos de distribuição frente à demanda existente seria o resultado desta simulação.

Como a matriz origem-destino em questão tem 497 nós, quando se procura o local para instalação de apenas 1 CD, existem 497 possibilidades distintas. Os resultados alcançados para essa simulação indicam a microrregião de Belo Horizonte, tendo como centroide a cidade de Contagem, no estado de Minas Gerais, como melhor local de instalação do CD. A Figura 18 mostra a localização do centroide juntamente com a mancha de demanda.

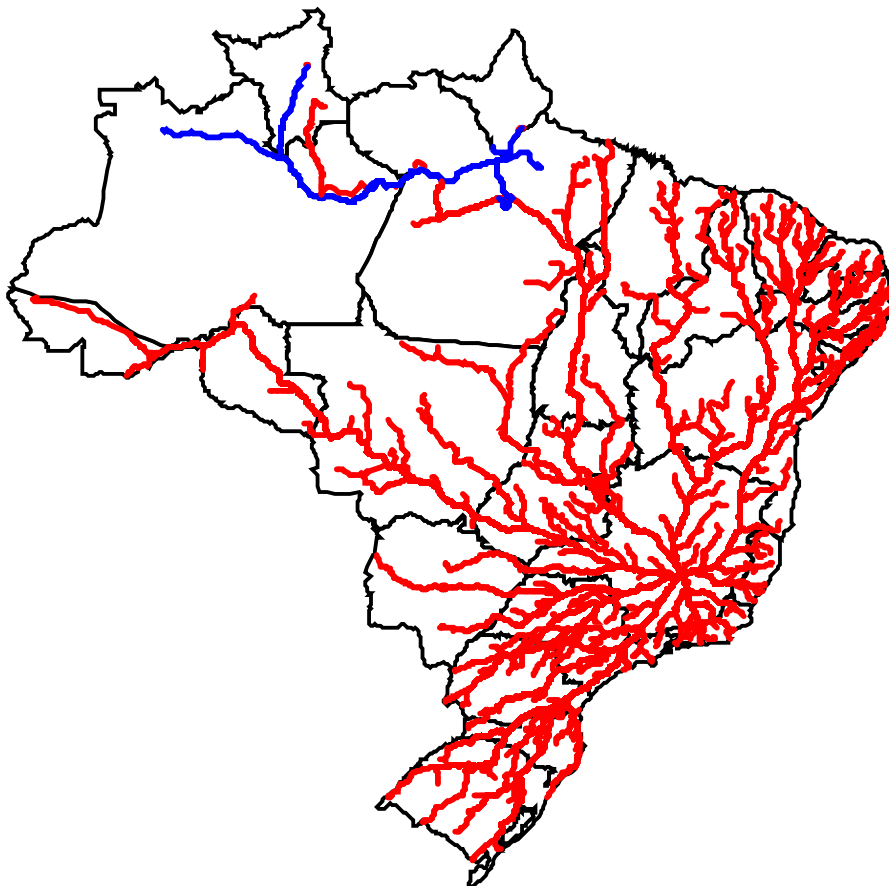
Figura 18 - Localização do novo CD



Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.

A Figura 19 mostra os prováveis caminhos utilizados para a distribuição das mercadorias partindo-se de um CD existente na microrregião representada pela cidade de Contagem (MG).

Figura 19 - Possíveis rotas utilizadas na distribuição com base em um CD em Contagem (MG)



Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.

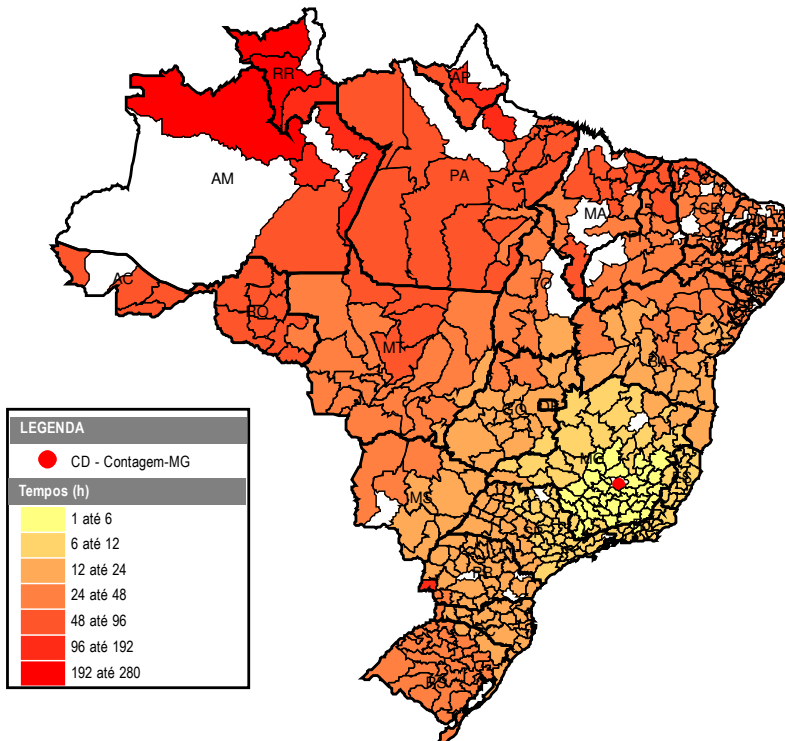
Considerando esse resultado indicado pelo modelo de p-medianas, a Tabela 18 e as Figuras 20 e 21 mostram os resultados relativos a distâncias, tempos e custos de distribuição.

Tabela 18 – Distâncias, tempos e custos de transporte para um CD em Contagem

	Distância (km)	Tempo (h)	Custo de Distribuição (R\$)
<b>Total</b>	685.465,72	13.978,91	2.742.919,98
<b>Média</b>	1.381,99	28,18	5.530,08

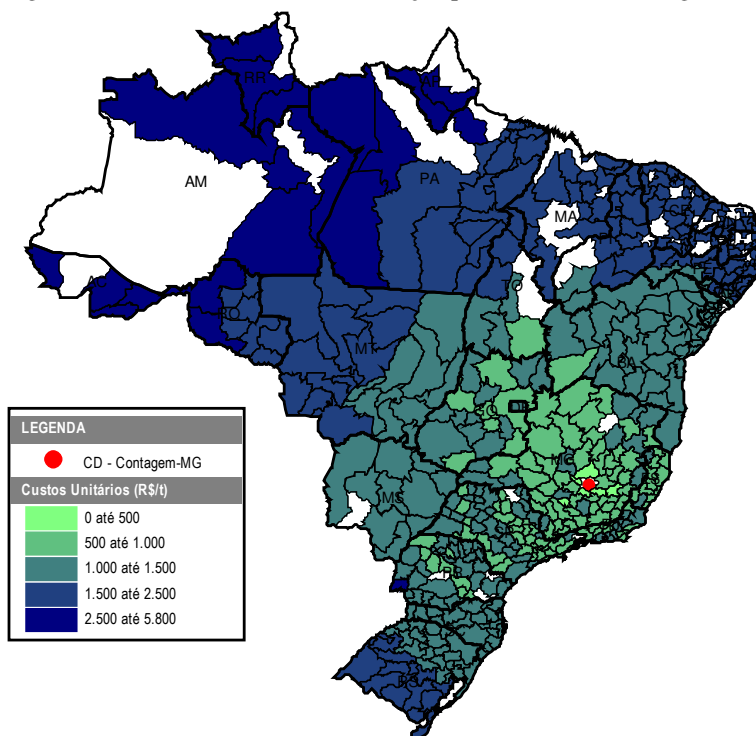
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 20 - Tempos de distribuição para um CD em Contagem (h)



Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.

Figura 21 - Custos unitários de distribuição para um CD em Contagem (R\$/t)



Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.

### 6.10.2 Simulação com um CD existente

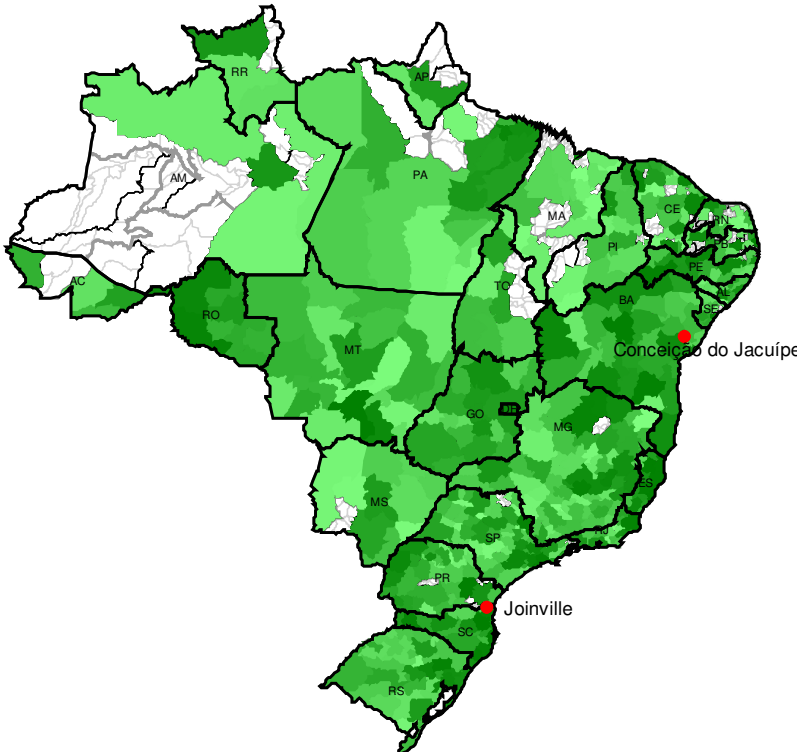
A simulação, levando em consideração a pré-existência de um CD junto à planta industrial em Joinville (SC), torna-se mais interessante, uma vez que ele está muito mais próximo da realidade da empresa.

Para o modelo de p-medianas, o problema é tratado como se fossem escolhidos dois novos CD's, porém, as combinações possíveis para a resposta são limitadas àquelas em que um dos dois CD's está localizado no centroide de Joinville.

Nesse caso, há também um número de 497 respostas possíveis. O modelo indicou que a melhor localização para a implantação de um novo CD, já considerando a existência de um em Joinville (SC), é a microrregião de Catu, no estado da Bahia. Essa microrregião é representada pela cidade de Conceição do Jacuípe. A Figura 22 mostra a

localização indicada dos dois CD's, juntamente com a mancha de demanda atual.

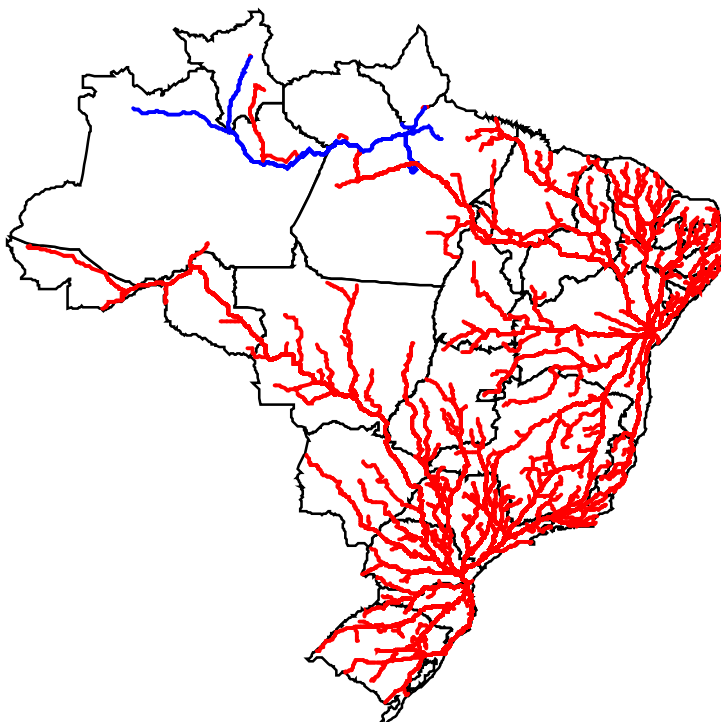
Figura 22 - Localização do novo CD considerando um existente em Joinville



Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.

A Figura 23 mostra as possíveis rotas utilizadas para distribuir as mercadorias partindo dos CD's localizados em Joinville (SC) e Conceição do Jacuípe (BA).

Figura 23 - Possíveis rotas utilizadas na distribuição com base em dois CD's



Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.

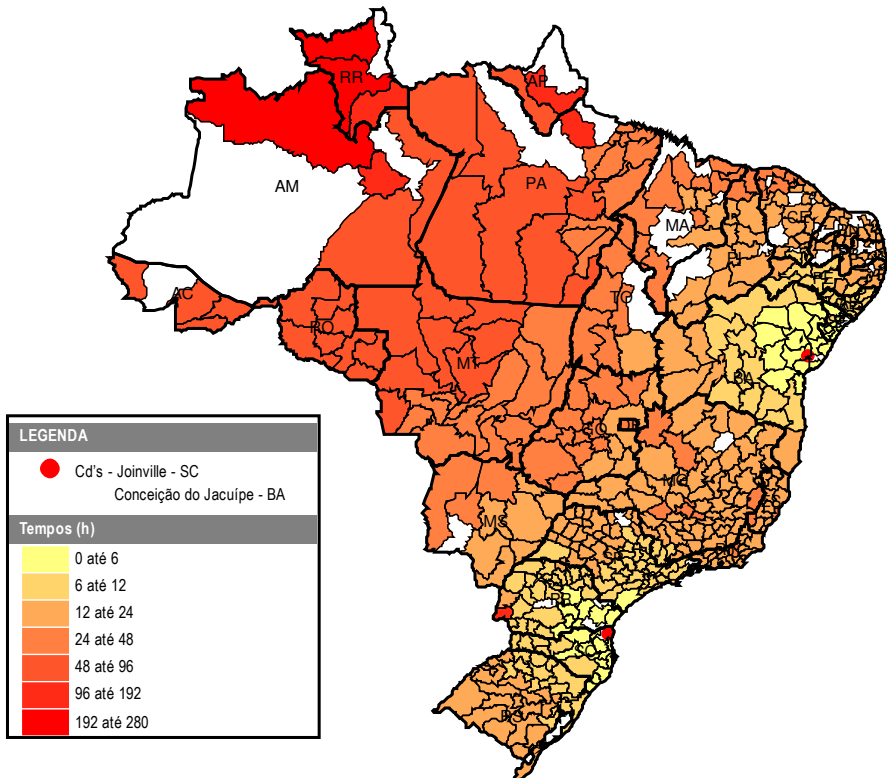
Os resultados das simulações com esses dois CD's podem ser vistos na Tabela 19, assim como nas Figuras 24 e 25.

Tabela 19 - Distâncias, tempos e custos de transporte para dois CD's

	<b>Distância (km)</b>	<b>Tempo (h)</b>	<b>Custo de Distribuição (R\$)</b>
<b>Total</b>	506.158,04	11.041,37	2.272.655,43
<b>Média</b>	1.022,54	22,31	4.591,22

Fonte: Elaborada pelo autor.

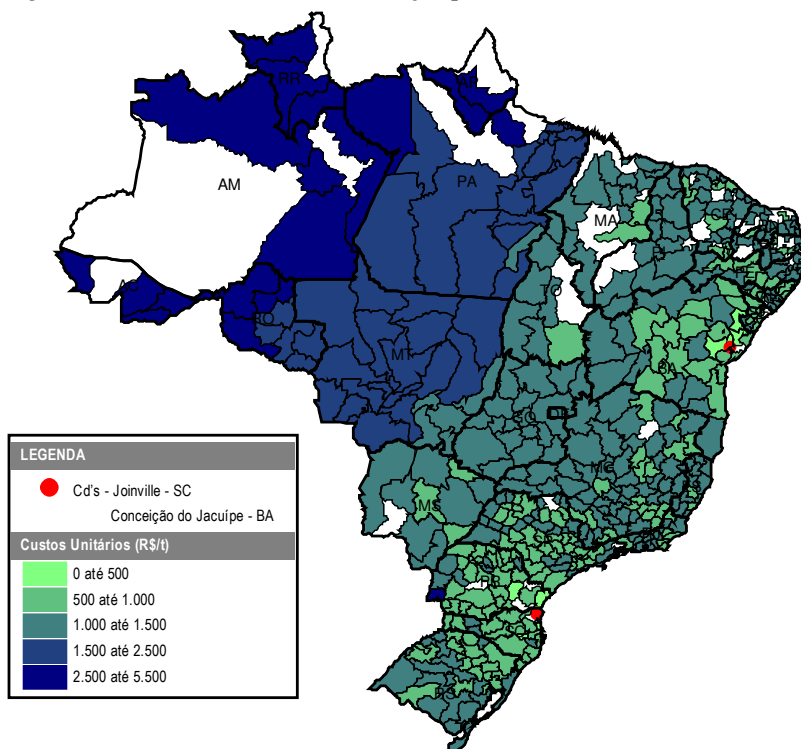
Figura 24 - Tempos de distribuição para dois CD's (h)



Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 25 - Custos unitários de distribuição para dois CD's (R\$/t)



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 6.10.3 Simulação com um CD existente e custo de abastecimento

A última simulação realizada para o estudo de macrolocalização para implantação de um CD para a empresa Alpha considerou a existência de outro CD junto à empresa, em Joinville (SC), e o custo de abastecimento do CD. Entenda-se como custo de abastecimento o custo existente para levar os produtos da fábrica, em Joinville, até o novo CD.

Os resultados, alcançados pelo modelo de p-mediana adaptado, indicam a instalação de um CD na microrregião de Paranaguá, no estado do Paraná, tendo como centroide a cidade de Guarapuava. Note-se que a microrregião de Paranaguá está localizada ao lado da microrregião em que se encontra a empresa, o que mostra que os altos custos de transferência entre a empresa e o CD praticamente inviabilizam a instalação de um novo CD. Em outras palavras, o custo de

abastecimento é tão elevado a ponto de ser mais interessante atender a todas as demandas diretamente da empresa, como é feito atualmente.

No entanto, o interesse em se instalar um CD para a empresa não está relacionado à redução de custos, mas principalmente à melhoria do nível de serviço. Dessa forma, o resultado indicado pelo modelo não se mostra interessante e não será levado em consideração nas análises finais.

## 6.11 ANÁLISE DE RESULTADOS

Com base nas simulações realizadas no item anterior, com auxílio do modelo de p-medianas, e desconsiderando a simulação com custos de abastecimento, pôde-se elaborar as tabelas e gráficos que seguem.

Tabela 20 - Resultados totais

<b>Municípios</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Tempo (h)</b>	<b>Custo de Distribuição (R\$)</b>
Joinville (SC)	880.616,23	17.537,95	3.440.872,34
Contagem (MG)	685.465,72	13.978,91	2.742.919,98
Joinville (SC) e Conceição do Jacuípe (BA)	506.158,04	11.041,37	2.272.655,43

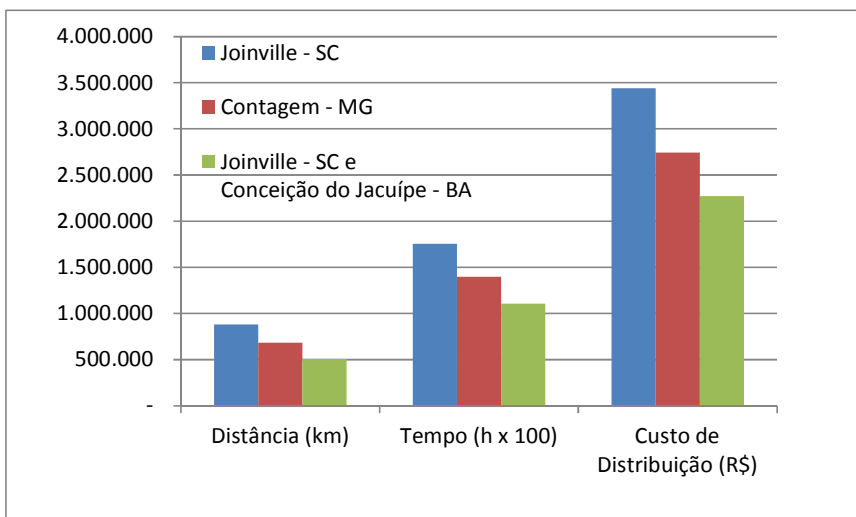
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 21 - Resultados médios

<b>Municípios</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Tempo (h)</b>	<b>Custo de Distribuição (R\$)</b>
Joinville - SC	1.775,44	35,36	6.937,24
Contagem - MG	1.381,99	28,18	5.530,08
Joinville - SC e Conceição do Jacuípe - BA	1.022,54	22,31	4.591,22

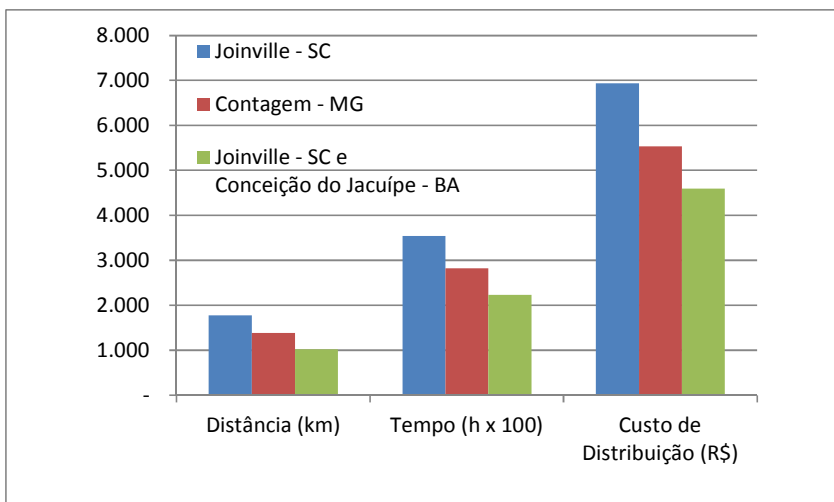
Fonte: Elaborada pelo autor.

Gráfico 12- Resultados totais



Fonte: Elaborada pelo autor.

Gráfico 13 - Resultados médios



Fonte: Elaborada pelo autor.

Levando-se em consideração somente os custos de distribuição dentre as opções simuladas, a melhor delas é a implantação de um CD

na microrregião de Catu, no estado da Bahia, pois reduz tempos, distâncias percorridas e custos de distribuição sejam eles totais ou médios, conforme observados nas tabelas e gráficos anteriores.

Note-se que a redução do custo de distribuição provavelmente não compensa o custo de abastecimento, porém, aceitando-se como certa a necessidade de instalação de um CD alternativo ao que existe em Joinville, a melhor macrolocalização em termos de diminuição de tempos de atendimento e custos de distribuição é a apresentada.

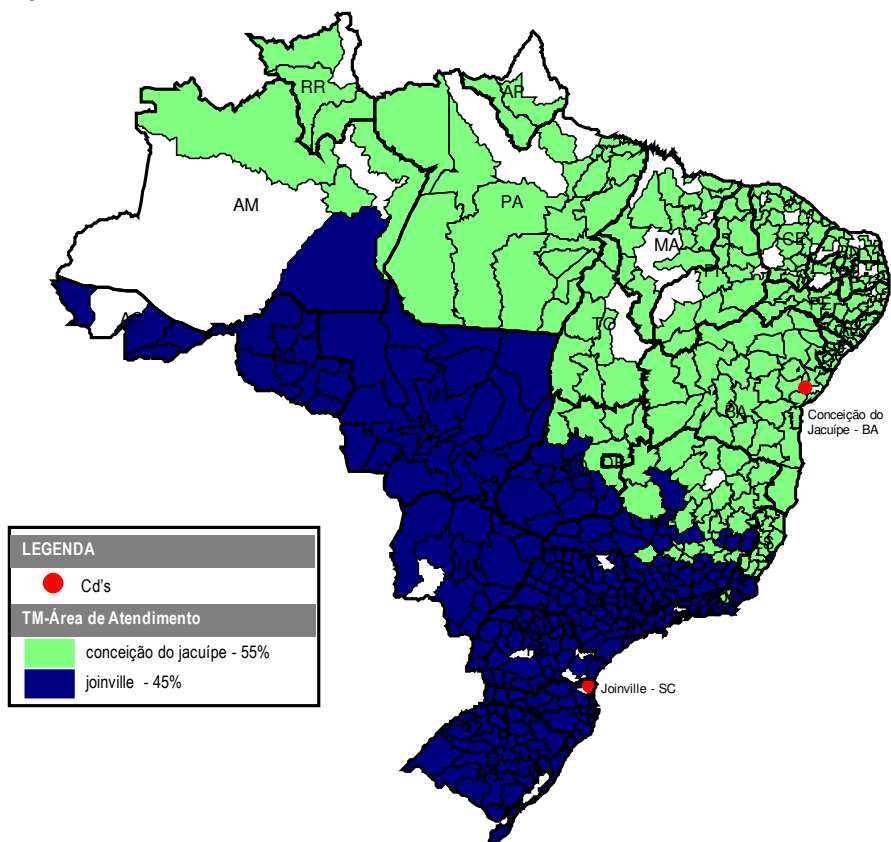
Quanto ao custo de abastecimento analisado, há de se fazer algumas ressalvas. Para este estudo, o cálculo do custo de abastecimento foi realizado com base nos mesmos fretes unitários médios pagos atualmente pela empresa para realização da distribuição de seus produtos. No entanto é possível que, com o transporte de uma maior quantidade de carga entre um mesmo par origem-destino (fábrica-CD), haja diminuição do valor do frete unitário médio e, por consequência, diminuição do custo de abastecimento.

Outra possibilidade é a aquisição de frota própria, pela empresa, para realizar o transporte fábrica-CD, podendo-se inclusive verificar a possibilidade de voltar com matéria-prima. No entanto, essas hipóteses não fazem parte deste estudo.

Em comparação com a situação atual de distribuição, a implantação de um CD na Bahia, combinada com o uso do CD de Joinville, traria uma redução de, aproximadamente, 37 horas nos tempos de atendimento ao cliente, e 34% nos custos de distribuição (não considerando os custos de abastecimento).

De acordo com as simulações, o CD de Joinville seria responsável por distribuir 45% das cargas da empresa, enquanto o CD da Bahia, 55%. A Figura 26 mostra as áreas de atendimento de cada um dos dois CD's.

Figura 26 - Área de atendimento dos CD's



Fonte: Elaborada pelo autor com uso do SisLog.



## 7 CONCLUSÕES

Este trabalho comprovou que o uso do modelo de p-medianas é aplicável a problemas de localização de Centros de Distribuição, procedidas algumas adaptações necessárias a cada caso. De forma mais objetiva, conclui-se que o modelo de p-medianas se aplica bem ao problema de macrolocalização de centros de distribuição para indústrias.

A proposta de sequência metodológica apresentada se mostrou eficiente para a resolução do estudo de caso, mas alterações nos passos sugeridos para essa sequência podem se fazer necessárias de acordo com cada empresa a ser estudada e de acordo com os dados disponíveis.

O estudo de macrolocalização requer uma maciça entrada de dados que, quanto mais coerentes forem, melhores resultados trarão, e é apenas uma parte de um estudo para escolha do local de implantação do futuro Centro de Distribuição. Após a macrolocalização, devem-se conduzir estudos de microlocalização que podem indicar uma possível revisão na macrolocalização.

O zoneamento é etapa importante principalmente quando avalia-se o custo benefício do resultado. Zonas de tráfego muito pequenas em grande número implicam em grande esforço computacional e, principalmente, em tempo. Simplificações, como uso de microrregião ao invés de municípios, podem reduzir sobremaneira o tempo de simulações. No estudo de caso, estima-se que tal simplificação causou redução de 17 dias para 8 horas na simulação para obtenção da matriz de custos.

O uso de sistemas computacionais é de extrema importância para que se alcance o resultado com a qualidade desejada dentro do prazo necessário, salvo estudos de porte muito pequeno.

A análise dos custos reais que incorrem sobre as atividades de distribuição corrobora para um resultado mais assertivo. Quanto mais detalhados forem, melhores resultados trarão. Por exemplo, considerar custos de transbordo modal, custo do estoque em trânsito, seguro, perda de carga, entre outros, torna as simulações mais realistas.

Uma análise mais acurada dos fretes, principalmente se levar-se em consideração o volume das encomendas e o número de volumes ao invés de somente considerar o peso, pode trazer resultados distintos e mais reais do que os encontrados nesse trabalho.

Considerar a existência de um CD junto ao parque fabril da empresa foi de suma importância para o estudo de caso. Tal especificidade necessitou de tratamento especial durante a implementação do modelo matemático e a análise de resultados.

A entrada do custo de abastecimento juntamente com os custos totais analisados no cálculo de p-medianas para a definição da macrolocalização do CD deve ser feita com cuidado, pois pode distorcer os resultados visto que o volume a ser transportado da fábrica até o CD é muito alto. Devem-se analisar modelos de transporte diferenciados para esse abastecimento, como o uso de frota própria.

O estudo de caso indicou a microrregião de Catu, na Bahia, representada pela cidade de Conceição do Jacuípe, como sendo propícia a receber o novo Centro de Distribuição da empresa Alpha, levando em consideração a existência de um CD em Joinville (SC). Tal indicação é coerente com a distribuição da demanda da empresa.

Por fim, pode-se concluir que os objetivos, tanto geral quanto específicos, descritos no início deste trabalho, foram alcançados com sucesso. Além de ser eficiente para este estudo de macrolocalização de Centros de Distribuição, no decorrer do trabalho o modelo de p-medianas se mostrou interessante para a resolução de vários outros problemas de localização de facilidades.



## 8 INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer deste trabalho surgiram, naturalmente, algumas dificuldades e ideias que servirão de fomento para sugestões de trabalhos futuros, a saber:

- Utilização conjunta do modelo de p-medianas com o p-centros de forma que se avalie, em sincronia, a minimização de custos e tempos;
- Maior detalhamento dos custos envolvidos, como custo de transbordos, estoque em trânsito, entre outros;
- Consideração de diferentes custos de implantação do CD para cada combinação possível;
- Análise temporal dos fluxos, ou seja, consideração das mudanças de demanda no modelo de p-medianas;
- Implementação de otimizações no modelo de p-medianas para acelerar o processo de simulação;
- Avaliação do impacto do volume transportado em fretes de carga fracionada, não considerando apenas a variável peso;
- Realização de estudos detalhados – utilizando-se o modal hidroviário e o ferroviário - de localização para facilidades de produtos característicos do uso desses modais, considerando que respostas inesperadas podem surgir em virtude da distorção causada por esses modais na relação tempo x distância x preço;
- Realização de simulações para estudos de caso do mesmo porte do deste trabalho, com mais de dois CD's; e
- Avaliação da quantidade ótima de CD's a serem instalados.



## REFERÊNCIAS

- ARENALES, M. et al. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Campus, 2007. 524 p.
- ANTT - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Disponível em: <[www.antt.gov.br](http://www.antt.gov.br)>. Acesso em: 12 jan. 2009.
- AMERICAN MARKETING ASSOCIATION. Disponível em: <[www.marketingpower.com](http://www.marketingpower.com)>. Acesso em: 14 jan. 2008.
- BALLOU, R. H. **Business Logistics Management: Planning, Organizing, and Controlling the supply chain**. New Jersey, USA: Prentice Hall, 1999.
- \_\_\_\_\_. **Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1995. 388 p.
- BARTHOLOMEU, D. B. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. Tese (Doutorado em Economia Aplicada)- ESALQ/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- BEZERRA, S. N. Algoritmos Evolutivos Paralelos Aplicados ao Problema das p-Medianas. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, 2008..
- BORIO, C.B. **Um modelo utilizando um sistema de informação geográfica de apoio à logística do transporte rodoviário de veículos**. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Plano Nacional de Logística e Transportes**. 2009. Disponível em: <<http://www2.transportes.gov.br/bit/01-inicial/pnlt.html>>. Acesso em: 14 abr. 2009.

BURROUGH, P. A; McDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Nova York: Oxford University Press, 1998. 333 p.

CASAROTTO FILHO, N. **Projeto de Negócios: estratégias e estudos de viabilidade**. São Paulo: Atlas, 2002. 301 p.

CHING, H. Y. **Gestão de Estoques na Cadeia de Logística Integrada**. São Paulo: Atlas, 1999. 182 p.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimento**. São Paulo: Pioneira, 1997. 240 p.

CLEMENTE, A. **Projetos empresariais e públicos**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 341 p.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Revista CNT**. Brasília, 2001. Vários números. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 8 mar. 2010.

CNT; COPPEAD. **Transporte de Cargas no Brasil – Ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do país**. [20-?]. Disponível em: <<http://portal2.tcu.gov.br/portal/pls/portal/docs/2062408.PDF>>. Acesso em: 28 maio 2010.

COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT. Disponível em: <<http://cscmp.org/Default.asp>>. Acesso em: 14 jan. 2008.

ERHART, S.; PALMEIRA, E. M. Análise do Setor de Transportes. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, [s.l.], n. 71, 2006.

FARAH Jr., M. Os desafios da logística e os centros de distribuição física. **FAE Business**, Curitiba, n. 2, 2002. Disponível em: <[http://www.fae.edu/publicacoes/fae\\_business.asp#2](http://www.fae.edu/publicacoes/fae_business.asp#2)>. Acesso em: 21 nov. 2007.

FELTRIN, A. **O futuro do transporte rodoviário de cargas** – análise setorial. São Paulo: Gazeta Mercantil, 2000.

FERREIRA, A. B. H (org.). **Novo dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000. 372 p.

FOWLER, H. W.; FOWLER, F. G (orgs.). **The Concise Oxford Dictionary for Current English**. UK: Oxford at Clarendon Press, 1964.

FREITAS, M. B. **Transporte rodoviário de cargas e sua respectiva responsabilidade civil**. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=52311983>>. Acesso em: 30 abr. 2009.

GALVÃO, O. J. A. Os Transportes como um Problema de Política Pública: Uma Perspectiva Histórica. **Planejamento e Políticas Públicas** (IPEA), Brasília, DF, v. 13, p. 183-213, 1996.

GOEBEL, D. Logística – otimização e estoques na empresa. **Estudos em comércio exterior**, Rio de Janeiro, n. 1, v. 1, jul./dez. 1996.

GOMES, R. A. **Transporte Rodoviário de Carga e Desenvolvimento Econômico no Brasil: uma Análise Quantitativa**. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

HAKIMI, S. L. Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. **Operations Research**, v. 12, p. 450-459, 1964.

HERSZKOWICZ, D. Desafios do E-commece na América Latina. **Cartas e Gazeta Mercantil**, São Paulo, 23 nov. 2000, Cartas e Opiniões, p. A2.

HIMMELBLAU, D. M. **Process Analysis by Statistical Methods**. New York: John Wiley & Sons Inc, 1970.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Anual de Serviços – 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/comercioeservico/pas/pas2006/>>. Acesso em: 28 maio 2010.

KORTE, G. B. **The GIS book: how to implement, manage, and assess the value of geographic information systems**. 5. ed. Canadá: Onword Press, 2001. 387 p.

LORENA, L. A. N. **Análise espacial de redes com aplicações em sistemas de informações geográficas**. São José dos Campos, São Paulo, [2004]. Disponível em: <<http://www.lac.inpe.br/~lorena/producao/Analiseredes.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2009.

LÜBECK, R. **Softwares de logística e modelos de gerenciamento de logística**. 2007. Disponível em: <[www.intelog.net](http://www.intelog.net)>. Acesso em: 24 maio 2008.

MARQUES, W. L. **Sistema de Informações Gerenciais**. Cianorte, PR: [s.n], 1994. Disponível em:  
<<http://books.google.com.br/books?id=P3jsnCDwEJsC&printsec=froCNTover&dq=sistema+informa%C3%A7%C3%B5es+gerenciais&cd=2>>  
. Acesso em: 11 fev. 2009.

NOVAES, A. G. Custos ABC no Transporte de Carga. In: CAIXETA FILHO, J. V.; MARTINS, R. S. **Gestão logística do transporte de cargas**. São Paulo: Atlas, 2001. p. 148-179.

\_\_\_\_\_. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 408 p.

OLIVEIRA, D. P. R. **Sistemas de Informações Gerenciais: Estratégias, Tática e Operacionais**. 9. ed. São Paulo: Atlas. 2004. 202 p.

ONDE localizar o centro de distribuição? **Revista Movimentação e Armazenagem**. São Paulo, n. 100, p. 14-15, set./out. 1997.

PIRES, D. S. **Identificação dos acidentes no modal ferroviário de cargas num ramal de Santa Catarina**: uma abordagem logística. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos Sistemas de transporte no Brasil e à Logística Internacional**. São Paulo: Aduaneiras, 2001.

SIFRECA - Sistema de Informações de Fretes. Disponível em:  
<<http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/fretes/rodoviaros/index.php>>.  
Acesso em: 24 out. 2011.

SILVA, E. N. A. **Centralização da distribuição e custos de transporte**: estudo de caso da Ambev. 2006. 85 f. Dissertação

(Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

STAIR, R. M. **Princípios de sistemas de informação**: uma abordagem gerencial. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998. 451 p.

TABOADA, C. Logística: o diferencial da empresa competitiva. **FAE Business**, Curitiba, n. 2, 2002. Disponível em : <[http://www.fae.edu/publicacoes/fae\\_business.asp#2](http://www.fae.edu/publicacoes/fae_business.asp#2)>. Acesso em: 21 nov. 2007.

VANTINE, J. G. Sistema Logístico. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 1992.



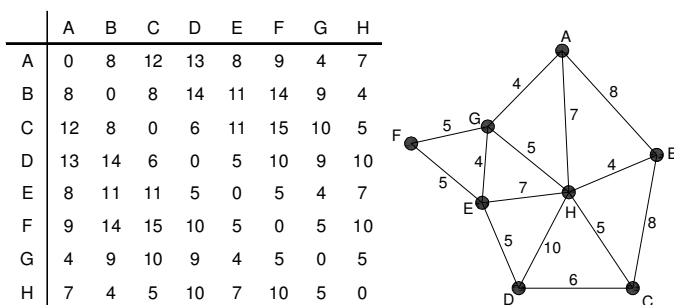
## ANEXO A - Exemplos de problemas de modelos de localização

A seguir encontram-se exemplos extraídos do livro “Projetos Empresariais e Públicos” (CLEMENTE, 2002), para cada um dos modelos.

### A.1 PROBLEMA DE P-MEDIANAS

Vamos considerar, para ilustrar os problemas de p-medianas, e também de p-centros, a matriz de impedâncias e a rede de lugares da Figura A.1, que segue.

Figura A.1 - Rede de lugares e matriz de distâncias



Os pontos *A* a *H* representam as localizações dos consumidores de certo bem ou serviço, bem como possíveis localizações para uma empresa instalar-se (ressalte-se que a empresa poderá ofertar o bem ou serviço a partir de mais de um ponto.)

Admita-se, por ora, que todos os nós da rede apresentam demanda unitária. Dessa forma, se *Y* for o ponto de fornecimento e *X* o ponto de entrega, o custo pode ser representado simplesmente pela distância, podendo-se recorrer aos valores da matriz de distâncias:

$$C(X,Y) = D(X,Y)$$

Se cada coluna da matriz de distâncias representar uma localização potencial e cada linha, um mercado, a solução do problema para  $p=1$  é obtida simplesmente somando-se os valores das colunas e pesquisando-se o menor valor.

Localização	A	B	C	D	E	F	G	H
Custo Total	61	68	67	67	51	68	<b>46</b>	48

O ponto *G*, portanto, é a solução pra o problema de uma mediana.

Agora, suponha-se  $p=2$ . Se, por exemplo, fossem escolhidas as localizações  $E$  e  $G$ , ter-se-iam os seguintes custos:

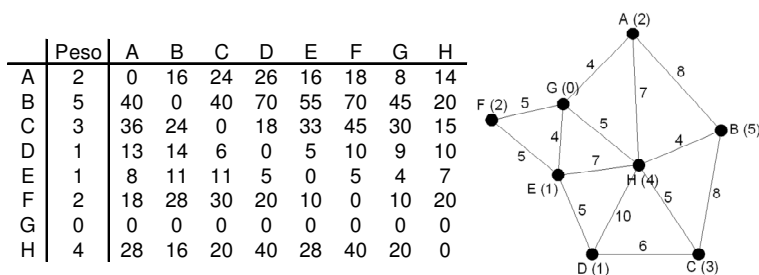
	E	G	Menor Custo
A	8	4	4
B	11	9	9
C	11	10	10
D	5	9	5
E	0	4	0
F	5	5	5
G	4	0	0
H	7	5	5
			<b>38</b>

Dessa forma, se os mercados forem atendidos a partir das localizações  $E$  e  $G$ , o custo total será 38. Observa-se, porém, que existem 28 pares distintos de localizações – número de combinações de 8 elementos 2 a 2 – que teriam de ser pesquisados para se escolher a solução ótima. De forma semelhante, poderiam ser resolvidos os problemas para  $p=3$ ,  $p=4$ , etc.

Até agora prevaleceu a suposição de que todos os pontos apresentavam igual demanda ou demanda unitária, mas isso é uma simplificação inaceitável na maioria das situações reais devido às diferenças de população e de renda entre os lugares. Para levar em conta essas diferenças, associam-se aos pontos pesos representativos de suas respectivas demandas, constituindo o problema de  $p$  medianas ponderado. A solução desse problema é obtida de forma semelhante, ponderando-se as distâncias, custo de transporte ou tempo de viagem.

A Figura A.2 apresenta a rede anteriormente analisada, mas inclui ao lado da designação de cada ponto, o seu peso. A tabela de distâncias, agora, leva em conta esses pesos, multiplicando cada linha (mercado ou ponto de demanda) pelo respectivo peso.

Figura A.2 - Rede de lugares e matriz de distâncias ponderada



A solução para o problema de uma mediana pode ser obtida, como anteriormente, comparando-se os custos totais associados a cada localização.

Localização	A	B	C	D	E	F	G	H
Custo Total	143	109	131	179	147	188	126	<b>86</b>

Observa-se que a ponderação deslocou a localização de  $G$  para  $H$  e que o ponto  $B$ , que antes estava entre as piores localizações, aparece, agora, como a segunda opção. Examinando-se os pesos, percebe-se que isso não é surpreendente.

Os problemas com  $p=2$ ,  $p=3$ , etc. podem ser resolvidos como indicado anteriormente.

A diagonal principal da matriz de distâncias foi até agora considerada nula, mas isso obviamente não é necessário. Se os pontos da rede representam bairros, distritos ou municípios, por exemplo, a diagonal principal poderá conter os custos de distribuição nesses lugares. Além disso, os nós relevantes para localização podem ser distintos das concentrações de mercado, de tal forma que as colunas (localizações potenciais) da matriz componham um conjunto diferente do conjunto de linhas (pontos de mercado). Essas considerações em nada alteram a metodologia básica apresentada.

## A.2 PROBLEMA DE P-CENTROS

Considerando-se a rede da Figura A.1, tem-se pra  $p=1$  as seguintes distâncias máximas associadas a cada localização potencial:

Localização	A	B	C	D	E	F	G	H
Distância Máxima	13	14	15	14	11	15	10	10

Observa-se, então, que os pontos  $G$  e  $H$  são igualmente atraentes. Admita-se agora  $p=2$ . Considerem-se os pares de localizações  $E,G$  e  $G,H$ :

	E	G	H	Menor Custo (E,G)	Menor Custo (G,H)
A	8	4	7	4	4
B	11	9	4	9	4
C	11	10	5	10	5
D	5	9	10	5	9
E	0	4	7	0	4
F	5	5	10	5	5
G	4	0	5	0	0
H	7	5	0	5	0
				<b>10</b>	<b>9</b>

Comparando-se esses dois pares de localização, percebe-se que  $G,H$  é preferível segundo o critério de centralidade. Cabe observar, entretanto, que existem, como já apontado, outras 26 soluções viáveis.

De forma semelhante, o procedimento mostrado pode ser estendido pra  $p=3$ ,  $p=4$ , etc.

Até o momento não foi introduzida ponderação, mas isso é, em geral, desejável. Suponha-se, por exemplo, a localização do corpo de bombeiros entre localidades que apresentam grandes diferenças de população. Se não houver ponderação, a localização será orientada apenas pela distribuição geográfica dessas localidades. A ponderação, entretanto, não altera o critério de escolha. Seja, por exemplo, o caso de um centro, com as ponderações apresentadas na Figura A.2. Escolhendo-se a distância máxima ponderada de cada localização, tem-se:

Localização	A	B	C	D	E	F	G	H
Distância Máxima Ponderada	40	28	40	70	55	70	45	<b>20</b>

Nesse caso a melhor localização seria o ponto  $H$ .

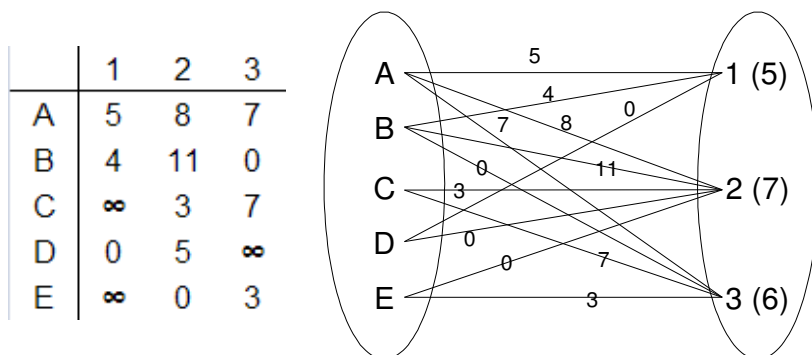
É importante observar que, ao contrário do que ocorre com os problemas de  $p$ -medianas, os problemas de  $p$ -centros podem apresentar solução ótima envolvendo pontos que não são nós da rede. A maioria desses pontos geralmente não é de interesse, mas se for desejável podem ser pesquisados quaisquer pontos incluídos como localizações potenciais (colunas da matriz de distâncias).

Quanto às possibilidades de simulação, poderiam ser feitas observações semelhantes àquelas apresentadas com referência aos problemas de  $p$ -medianas.

### A.3 LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE CAPACIDADE ILIMITADA

Seja, por exemplo, a rede bipartida mostrada na Figura A.3, que compreende as localizações 1, 2 e 3, cujos custos fixos são 5, 7 e 6, respectivamente, e os pontos de distribuição A a E.

Figura A.3 - Rede bipartida



A Tabela A.1 apresenta os custos de cada alternativa de localização, das alternativas duas a duas, bem como das três em conjunto.

Tabela A.1 - Custos fixos e variáveis no problema de localização de unidades de capacidade ilimitada

Localizações Escolhidas	Custos Fixos	Custos Variáveis	Custos Totais
1	5	$\infty$	$\infty$
2	7	27	34
3	6	$\infty$	$\infty$
1,2	12	12	<b>24</b>
1,3	11	15	26
2,3	13	15	28
1,2,3	18	8	26

Observa-se que a melhor escolha correspondete às alternativas 1 e 2 em conjunto (A unidade localizada em 1 atende às demandas A, B e D, enquanto a unidade localizada em 2, às demandas C e D).

A diferença mais importante em relação aos problemas anteriores reside na inclusão de um custo fixo associado a cada localização potencial. Observa-se que o custo fixo é considerado independente do volume de produção, referindo-se, portanto, à instalação de uma unidade de capacidade ilimitada.

#### A.4 PROBLEMAS DE DESIGNAÇÃO QUADRÁTICA

Os problemas de designação quadrática destinam-se a descobrir o arranjo ótimo em um espaço predeterminado onde as alternativas de localização podem receber qualquer das unidades a serem localizadas (mas apenas uma delas). Esses problemas baseiam-se no conceito de matriz de conexão, cujos elementos representam a importância da proximidade entre duas unidades quaisquer.

Dessa forma, esses problemas apresentam dois componentes básicos:

- a. Matriz de conexão envolvendo as unidades a serem designadas
- b. Matriz de distâncias entre as alternativas de localização.

Sejam as matrizes de conexão e de distâncias mostradas na Figura A.4.

Figura A.4 - Matrizes de conexão e de distâncias pra três unidades e três localizações potenciais

CONEXÃO			
	A	B	C
A	-	7	3
B	7	-	5
C	3	5	-

DISTÂNCIAS			
	1	2	3
1	0	4	1
2	4	0	2
3	1	2	0

Observa-se imediatamente que as duas matrizes são simétricas, indicando que tanto a proximidade quanto a distância entra duas unidades quaisquer independem do sentido.

O problema consiste em designar as unidades às localizações alternativas de forma a tornar mínimo o total dos produtos de conexão por distâncias. Se, por exemplo, as unidades A e C fossem designadas

para as localizações 1 e 2, a contribuição para a função objetivo (que se quer tornar mínima) seria  $3 \times 4 = 12$ .

A Tabela A.2 mostra os cálculos envolvidos na avaliação de cada uma das seis possibilidades de designação. (Observe-se que o número de possibilidades de designação é rapidamente crescente, correspondendo ao fatorial do número de unidades.)

Tabela A.2 - Cálculos do problema de designação quadrática pra três unidades e três localizações potenciais

Localização nas Áreas 1, 2 e 3	Produtos de Distâncias por Conexões			
	A,B	A,C	B,C	soma
A, B, C	$4 \times 7 = 28$	$1 \times 3 = 3$	$2 \times 5 = 10$	41
A, C, B	$1 \times 7 = 7$	$4 \times 3 = 12$	$2 \times 5 = 10$	<b>29</b>
B, A, C	$4 \times 7 = 28$	$2 \times 3 = 6$	$1 \times 5 = 5$	39
B, C, A	$1 \times 7 = 7$	$2 \times 3 = 6$	$4 \times 5 = 20$	33
C, A, B	$2 \times 7 = 14$	$4 \times 3 = 12$	$1 \times 5 = 5$	31
C, B, A	$2 \times 7 = 14$	$1 \times 3 = 3$	$4 \times 5 = 20$	37

Nesse caso, a localização ótima consiste em atribuir a unidade A à área 1, a unidade C à área 2, e a unidade B à área 3. A, B, e C podem, por exemplo, representar departamentos de certa organização ou lojas de um shopping.

Examinando-se os cálculos efetuados anteriormente, observase que se m representar o número de unidades a serem localizadas e n o número de alternativas de localização, o problema exige apenas que  $m \leq n$ . Sejam, por exemplo, três unidades e quatro localizações potenciais conforme a Figura A.5.

Figura A.5 - Matrizes de conexão e de distâncias para três unidades e quatro localizações potenciais

CONEXÃO				DISTÂNCIAS				
	A	B	C		1	2	3	4
A	-	7	3	1	0	4	1	3
B	7	-	5	2	4	0	2	3
C	3	5	-	3	1	2	0	2
				4	3	3	2	0

A Tabela A.3 contém os cálculos necessários.

Tabela A.3 - Cálculo do problema de designação quadrática para três unidades e quatro localizações potenciais

Localização nas Áreas 1, 2 e 3	Produtos de Distâncias por Conexões			
	A,B	A,C	B,C	soma
A B C Ø	4X7=28	1x3=3	2x5=10	41
A C B Ø	1X7=7	4x3=12	2x5=10	29
B A C Ø	4X7=28	2x3=6	1x5=5	39
B C A Ø	1X7=7	2x3=6	4x5=20	33
C A B Ø	2X7=14	4x3=12	1x5=5	31
C B A Ø	2X7=14	1x3=3	4x5=20	37
A B Ø C	4X7=28	3x3=9	3x5=15	52
A C Ø B	3X7=21	4x3=12	3x5=15	48
B A Ø C	4X7=28	3x3=9	3x5=15	52
B C Ø A	3X7=21	3x3=9	4x5=20	60
C A Ø B	3X7=21	4x3=12	3x5=15	48
C B Ø A	3X7=21	3x3=9	4x5=20	50
A Ø B C	1X7=7	3x3=9	2x5=10	<b>26</b>
A Ø C B	3X7=21	1x3=3	2x5=10	34
B Ø A C	1X7=7	2x3=6	3x5=15	28
B Ø C A	3X7=21	2x3=6	1x5=5	32
C Ø A B	2X7=14	1x3=3	3x5=15	32
C Ø B A	2X7=14	3x3=9	1x5=5	28
Ø A B C	2X7=14	3x3=9	2x5=10	33
Ø A C B	3X7=21	2x3=6	2x5=10	37
Ø B A C	2X7=14	2x3=6	3x5=15	35
Ø B C A	3X7=21	2x3=6	2x5=10	37
Ø C A B	2X7=14	2x3=6	3x5=15	35
Ø C B A	2X7=14	3x3=9	2x5=10	33

**Nota;** Ø representa alternativa não selecionada

A denominação desses problemas como sendo de designação quadrática surge devido à formulação geral do problema apresentada a seguir. Sejam:



- $M$  - número de unidades a serem localizadas;  
 $N > M$  - número de localizações potenciais;  
 $x_{is}; i \in M; s \in N$  - variável binária;  $x_{is} = 1$  se a unidade  $i$  ocupar a localização  $s$ ;  $x_{is} = 0$  em caso contrário;  
 $b_{ij}$  - conexão entre pares  $i$  e  $j$ ;  $i, j \in M$ ;  
 $a_{st}$  - distância entre locais  $s$  e  $t$ ;  $s, t \in N$ .

O problema pode, então, ser formulado como:

$$\text{Min } \sum_i \sum_j \sum_s \sum_t x_{is} b_{jt} a_{st}$$

Sujeito a:

$$\sum_s x_{is} = 1 \text{ para todo } i \text{ (todas as unidades devem ser designadas).}$$

$\sum_i x_{is} \leq 1$  para todo  $s$  (no máximo uma unidade é atribuída a cada local).

$x_{is}$  é variável binária

Uma restrição importante à utilização de problemas de designação quadrática reside na inexorável subjetividade da matriz de conexão, principalmente nos casos em que as estimativas não podem ser obtidas diretamente junto ao usuário. Outra restrição refere-se à suposição de que qualquer localização potencial pode receber qualquer das unidades a serem designadas. De qualquer forma, problemas de designação quadrática podem ser úteis para uma primeira aproximação, a partir da qual outras considerações e outros estudos seriam realizados.