

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

**UTILIZAÇÃO DE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO PARA
DINAMIZAÇÃO DO FLUXO REVERSO DE PNEUS
INSERVÍVEIS**

Bruno de Oliveira Rocha

**Dissertação submetida ao Programa de
Mestrado em Engenharia de Transportes
da Universidade Federal do Ceará, como
parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em
Engenharia de Transportes.**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Júlio Francisco Barros Neto

**Fortaleza
2008**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FICHA CATALOGRÁFICA

R571u ROCHA, BRUNO DE OLIVEIRA

Utilização de Modelos de Localização para Dinamização do Fluxo Reverso de Pneus Inservíveis [manuscrito] / Bruno de Oliveira Rocha
126 f. :il. Color. ;enc.

Orientador: Dr. Júlio Francisco Barros Neto
Área de Concentração: Transporte de Carga e Logística
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

1. Pneus inservíveis - Reciclagem 2. Modelos de localização 3. Logística reversa 4. Asfalto ecológico I. Barros Neto, Júlio Francisco (orient.) II. Universidade Federal do Ceará – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - PETRAN III. Título

CDD 388

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROCHA, B.O. (2008). Utilização de Modelos de Localização para Dinamização do Fluxo Reverso de Pneus Inservíveis. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 125 pág.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Bruno de Oliveira Rocha

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Utilização de Modelos de Localização para Dinamização do Fluxo Reverso de Pneus Inservíveis.

Mestre / 2008

É concedida à Universidade Federal do Ceará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Bruno de Oliveira Rocha

Travessa Benjamim Constant, N. ° 724 – Bairro Reduto

66.053-040 – Belém/PA – Brasil

e-mail: brunonoco@yahoo.com.br

UTILIZAÇÃO DE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO PARA DINAMIZAÇÃO DO
FLUXO REVERSO DE PNEUS INSERVÍVEIS

Bruno de Oliveira Rocha

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE
TRANSPORTES

Aprovado por:

Prof. Júlio Francisco Barros Neto, D.Sc.
(Orientador – UFC)

Prof.^a Nadja Glheuca da Silva Dutra, D.Sc.
(Examinadora Interna – UFC)

Prof. Jorge Barbosa Soares, PhD
(Examinador Interno – UFC)

Prof. Lucídio dos Anjos Formiga Cabral, D.Sc.
(Examinador Externo – UFPB)

FORTALEZA, CE – BRASIL
JUNHO DE 2008

“Fica estabelecida a possibilidade de sonhar coisas impossíveis e de caminhar livremente em direção aos sonhos”.

Luciano Lippi

DEDICATÓRIA

Ao grande amor da minha eternidade,
por quem sempre vivi e sempre viverei.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida e pelo amor plantado em meu coração.

À minha mãe Eliana, ela, meu exemplo de vida e sabedoria, meu porto seguro de amor e carinho, incentivadora maior de minha vida.

Ao meu pai Jorge (*in memoriam*), por me fazer enxergar as coisas belas da vida, me proporcionando sonhar e realizar os sonhos, fornecendo o alicerce para construir minha vida.

Ao professor Júlio Francisco Barros Neto, orientador desta dissertação, pela contribuição prestada no seu desenvolvimento, com sua capacidade, paciência e conhecimento, incentivando-me e encorajando-me na conclusão desta.

À professora Nadja Glheuca, pela atenção, conselhos e orientações prestadas em diversos momentos do mestrado.

Ao professor Felipe Loureiro pela competência e ensinamentos transmitidos que levarei por toda a minha vida.

Aos demais professores que contribuíram para o meu engrandecimento pessoal e profissional, em especial o professor Mário Ângelo, com quem aprendi bastante.

À Sra. Ivone Aleixo, pela especial atenção oferecida ao corpo discente do PETRAN e notável acolhimento daqueles que a procuram, demonstrando sempre presteza e dedicação que lhe são peculiares.

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro que possibilitou a conclusão deste trabalho e o desenvolvimento de vários artigos científicos.

Aos meus amigos e colegas do mestrado, principalmente João Henrique, Roger Cajazeiras e Alexandre Weber, por todo companheirismo e pelas horas de estudo e diversão.

Ao meu amigo Luiz Wanzeler da PUC-PR, que, além de ser um irmão de alma, teve uma contribuição essencial neste trabalho, trocando experiências e fornecendo um vasto conhecimento em modelagem computacional.

Devo agradecimento especial a Harlenn Lopes, um irmão de alma, amigo em todas as horas, dividindo responsabilidades, alegrias, tristezas e emoções, desde a graduação em Belém/PA até o Mestrado em Fortaleza/CE.

Os mais sinceros agradecimentos a minha avó Deceles (*in memorian*), pelos cuidados, ensinamentos, amor, carinho e enorme afeto dedicados a mim no período da vida em que estivemos juntos.

Aos meus familiares, especialmente meu irmão André e minhas tias Daisy e Deladia, pela influência sempre positiva em minha criação.

Aos amigos Daniel Azevedo, Jorge Azevedo, Renato Castro e Wallace Pontes, verdadeiros irmão de alma, sorrisos certos nas horas de felicidade, ombros firmes nas horas de tristeza e sempre um bom conselho nos momentos de dúvida.

À Danyelle Cossolosso, pelo amor imensurável, por estar presente nos melhores momentos da minha vida e por me proporcionar tamanha felicidade.

A todas as pessoas que em algum momento da vida puderam me confortar ou me fazer sorrir. Obrigado a todos e: acreditem nos seus sonhos, eles sempre se realizam.

Resumo da Dissertação submetida ao PETRAN/UFC como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Engenharia de Transportes.

UTILIZAÇÃO DE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO PARA DINAMIZAÇÃO DO FLUXO REVERSO DE PNEUS INSERVÍVEIS

Bruno de Oliveira Rocha

Junho/2008

Orientador: Júlio Francisco Barros Neto

Esta dissertação de mestrado trata do uso de modelos de localização para um sistema de logística reversa dos pneus inservíveis no estado do Ceará, visando à reciclagem da borracha a ser empregada na pavimentação asfáltica. É realizada uma abordagem teórica referente à gerência de pneus inservíveis, especialmente quanto às alternativas de reciclagem e reaproveitamento. Analisa-se a importância da implantação de Unidades de Reciclagem, sobretudo quanto ao seu benefício para o meio ambiente e para a sociedade. A descrição dos ganhos envolvidos na incorporação da borracha reciclada de pneus em ligantes asfálticos também é abordada com ênfase neste trabalho, enfocando as vantagens oferecidas pelo asfalto-ecológico. Objetivando atingir à finalidade proposta neste trabalho, consideram-se as frotas de veículos de cada cidade do estado como parte da metodologia para estimar a quantidade de pneus inservíveis gerados por ano. Na concepção dos modelos, foram analisadas as distâncias entre as cidades, as condições de acessibilidade da malha rodoviária do Ceará e outros aspectos econômicos, como a localização de pólos industriais. Tais fatores permitiram definir a cidade onde deve ser instalada a fábrica de reciclagem e as cidades candidatas a receber os pontos intermediários de armazenagem dos pneus inservíveis, os chamados ecopontos. Baseando-se nas alternativas de solução apresentadas pelos modelos, sugere-se uma proposta de arranjo para o fluxo de distribuição reversa dos pneus velhos, visando sua incorporação na cadeia de produção asfáltica. Por fim, ainda são identificadas algumas ações potenciais que podem dinamizar a coleta urbana de pneus em nível local.

Abstract of the Thesis submitted to PETRAN/UFC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.) in Transportation Engineering.

USE OF LOCATION MODELS TO MOTIVATE REVERSE FLOW OF SCRAP TIRES

Bruno de Oliveira Rocha

June/2008

Advisor: Júlio Francisco Barros Neto

This master thesis is about the use of location models for a system of reverse logistics of scrap tires in the State of Ceará seeking the recycling of the rubber to be used in pavement asphaltic surfaces. A theoretical approach is accomplished regarding the management of scrap tires, especially on the recycling and reuse alternatives. It is analyzed the importance of the implantation of Recycling Units, mainly in its benefit for the environment and for society. The description of the earnings involved in the incorporation of the tires recycled rubber in asphaltic mixtures is also approached, focusing the advantages offered by the asphalt-rubber. Aiming to achieve the objective proposed, it was considered the vehicle fleet of each city of the State as part of the methodology to predict the amount of scrap tires generated per year. In the conception of the models, it was analyzed the distances among cities, highway conditions of Ceará and other economical aspects (as the location of industrial poles). These factors led to define the city where the recycling factory must be installed and the prospective cities to receive the intermediate points of scrap tires storage (ecopoints). Based on the solution alternatives presented by the models, a proposal is suggested for the logistics of old tires reverse distribution, seeking its incorporation in the asphaltic production chain. Finally, potential actions are identified to motivate the urban collection of tires at the local level.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA.....	3
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 Objetivo Geral.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 METODOLOGIA DA PESQUISA	5
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
CAPÍTULO 2	9
GERÊNCIA INTEGRADA DE PNEUS INSERVÍVEIS.....	9
2.1 MERCADO BRASILEIRO DE PNEUS	9
2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS.....	13
2.3 ASPECTOS LEGAIS	15
2.4 OPÇÕES DA GERÊNCIA E REUTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS	17
2.4.1 Reforma de Pneus	18
2.4.2 Disposição em Aterros Sanitários.....	20
2.4.3 Edificações e Contenção de Encostas.....	21
2.4.4 Recifes Artificiais	23
2.4.5 Recuperação de Áreas Degradadas.....	24
2.4.6 Dormente Ferroviário	25
2.4.7 Drenagem.....	25
2.4.8 Artefatos de Borracha	26
2.4.9 Co-incineração em Fábricas de Cimento	27
2.5 BORRACHA RECICLADA DE PNEUS NA PAVIMENTAÇÃO	
ASFÁLTICA	29
2.5.1 Processo Seco de Obtenção do Asfalto Ecológico	32
2.5.2 Processo Úmido de Obtenção do Asfalto Ecológico	33
2.6 RECICLAGEM DA BORRACHA DE PNEUS	35
2.6.1 Processos de Obtenção do Pó de Borracha Reciclada	36
2.6.2 Infra-estrutura da Unidade Recicladora.....	37
2.7 LOGÍSTICA REVERSA APLICADA AOS PNEUS	38
2.7.1 Armazenagem e movimentação de pneus inservíveis	39
2.7.2 Vantagem Competitiva	42
CAPÍTULO 3	44
PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO	44
3.1 CLASSIFICAÇÕES DOS PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO	46
3.1.1 Classificação Quanto ao Número de Facilidades	46
3.1.2 Classificação Quanto à Função Objetivo.....	48
3.1.3 Classificação Quanto ao Espaço de Busca	48
3.1.4 Modelos Estáticos e Dinâmicos.....	49
3.1.5 Modelos Determinísticos e Estocásticos.....	50

3.1.6	Modelos de Alocação e Roteamento	51
3.2	PRINCIPAIS PROBLEMAS E MÉTODOS DE SOLUÇÃO.....	51
3.2.1	Problema de Localização com Coberturas.....	51
3.2.2	Localização de Medianas.....	54
3.2.3	Problema de Localização Não-Capacitada	56
3.2.4	Métodos Heurísticos de Busca.....	57
3.3	PROBLEMAS DE ROTEAMENTO	59
3.3.1	Planejamento Global do Roteamento	62
3.3.2	O Problema do Caixeiro Viajante.....	62
3.3.3	Formulação do Problema de Roteamento.....	63
3.3.4	Métodos de Resolução do Problema de Roteamento.....	64
CAPÍTULO 4		66
IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE LOCALIZAÇÃO.....		66
4.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	66
4.1.1	Estimativa de Pneus Inservíveis	67
4.1.2	Caracterização do Ambiente	68
4.1.3	Características do Modelo	69
4.1.4	Premissas do modelo	69
4.2	CONCEPÇÃO DO MODELO.....	70
4.2.1	Parâmetros do Modelo	70
4.2.2	Variáveis do Modelo.....	71
4.2.3	Modelo Proposto.....	71
4.3	APLICAÇÃO DO MODELO	73
4.3.1	Software Utilizado	78
4.3.2	Resolução do Modelo	78
CAPÍTULO 5		81
EXECUÇÃO DAS ANÁLISES.....		81
5.1	CENÁRIO 2 – CAPACIDADE DO ECOPONTO EM 75%	81
5.2	CENÁRIO 3 – CAPACIDADE DO ECOPONTO EM 50%	83
5.3	CENÁRIO 4 – LIMITAÇÃO DA DISTÂNCIA	86
5.4	AÇÕES POTENCIAIS A NÍVEL LOCAL.....	92
CAPÍTULO 6		96
CONSIDERAÇÕES FINAIS		96
6.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	97
6.2	CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		100

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1: METODOLOGIA USADA PARA ELABORAÇÃO DO ESTUDO	6
FIGURA 2.1: INCÊNDIO DE PNEUS (ODA, 2000).....	13
FIGURA 2.2: PNEUS RETIRADOS DO RIO TIETÊ (ODA, 2000).....	15
FIGURA 2.3: RECAUCHUTAGEM DE PNEUS	18
FIGURA 2.4: FÁBRICA DA BS COLWAY (SIMEÃO, 2005)	20
FIGURA 2.5: ATERROS PARA DISPOSIÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS	21
FIGURA 2.6: CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES COM PNEUS (ODA, 2003)	22
FIGURA 2.7: MURO DE PNEUS NA CONTENÇÃO DE ENCOSTAS (SILVA, 2004)	22
FIGURA 2.8: UTILIZAÇÃO DE PNEUS NA RECUPERAÇÃO DE EROSÕES (CAPPI, 2004).....	24
FIGURA 2.9: LAMINAS DE BORRACHA SOB CARREGAMENTO (BONENTE <i>ET AL.</i> , 2006) 25	
FIGURA 2.10: TUBOS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS (ODA, 2003)	26
FIGURA 2.11: ARTEFATOS PRODUZIDOS COM BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS	26
FIGURA 2.12: FÁBRICAS DE CIMENTO LICENCIADAS PARA CO-PROCESSAMENTO DE PNEUS (ABRELPE , 2006, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS PÚBLICAS E RESÍDUOS SÓLIDOS ESPECIAIS)	28
FIGURA 2.13: REPRESENTAÇÃO DA QUANTIDADE DE PNEUS EMPREGADOS NA PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS (EDEL, 2002)	30
FIGURA 2.14: PROCESSO ÚMIDO DE FABRICAÇÃO DO ASFALTO ECOLÓGICO.....	34
FIGURA 2.15: PÓ DE BORRACHA RECICLADA (ODA, 2003).....	36
FIGURA 2.16: PROCESSO DE RECICLAGEM DA BORRACHA DE PNEUS	37
FIGURA 2.17: USINA TRITURADORA ECOLÓGICA DE PNEUS (ODA, 2003)	38
FIGURA 2.18: COMPARATIVO ESPACIAL ENTRE PNEUS E LATAS DE ALUMÍNIO	39
FIGURA 3.1: DECISÕES ESTRATÉGICAS E TÁTICAS PARA O PROBLEMA DE ROTEAMENTO (GOLDBARG E LUNA ,2005, ADAPTADA).....	62
FIGURA 3.2: POSSÍVEL CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DO PROBLEMA DE ROTEAMENTO	63
FIGURA 4.1: FLUXO DE ANÁLISE QUANTITATIVA (GOLDBARG E LUNA ,2005)	66
FIGURA 4.2: ESTIMATIVA DE PNEUS INSERVÍVEIS GERADOS POR ANO NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO CEARÁ	73
FIGURA 4.3: INDICADOR DE CONECTIVIDADE GERAL DOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO CEARÁ	74
FIGURA 4.4: REPRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO CAPACITADO	75
FIGURA 4.5: INDICADOR DE CONECTIVIDADE COM RELAÇÃO A RMF DOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO CEARÁ	77
FIGURA 4.6: LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS ECOPONTOS PELO MODELO INICIAL.....	80
FIGURA 5.1: LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS ECOPONTOS PELO MODELO COM CAPACIDADE DO ECOPONTO EM 75%	83
FIGURA 5.2: LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS ECOPONTOS PELO MODELO COM CAPACIDADE DO ECOPONTO EM 50%	85
FIGURA 5.3: LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS ECOPONTOS PELO MODELO COM LIMITAÇÃO DE DISTÂNCIA.....	89
FIGURA 5.4: ÁREAS DE INFLUÊNCIA DOS ECOPONTOS.....	90
FIGURA 5.5: ESTRUTURA DA REDE REVERSA NO ÂMBITO MUNICIPAL	93

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 2.1: PRODUÇÃO NACIONAL DE PNEUS (ANIP, 2007, ADAPTADA).....	10
GRÁFICO 2.2: SEGMENTAÇÃO DAS VENDAS DE PNEUS NOVOS (ANIP, 2007, ADAPTADA).	11
GRÁFICO 2.3: IMPORTAÇÃO DE PNEUS USADOS (SECEX, 2007).....	12
GRÁFICO 5.1: HISTOGRAMA DAS DISTÂNCIAS ENTRE CIDADES E ECOPONTOS (MODELO INICIAL).....	86

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: FABRICANTES DE PNEUS INSTALADOS NO BRASIL	10
TABELA 2.2: QUANTIDADES PROPORCIONAIS PARA COLETA E DESTINAÇÃO FINAL DE PNEUS INSERVÍVEIS.	16
TABELA 2.3: RECIFES ARTIFICIAIS DE PNEUS NO ESTADO DE CEARÁ.....	23
TABELA 2.4: AVALIAÇÃO GERAL DAS RODOVIAS DO BRASIL E DO CEARÁ NO ANO DE 2007 - CRITÉRIO: PAVIMENTO (CNT, 2007, ADAPTADA)	31
TABELA 2.5: ECOPONTOS NA REGIÃO NORDESTE (ANIP, 2007).....	41
TABELA 2.6: CAMINHÕES UTILIZADOS PARA O TRANSPORTE DE PNEUS INSERVÍVEIS	41
TABELA 3.1: CLASSIFICAÇÃO PARA PROBLEMAS DE ROTEAMENTO (BODIN <i>ET AL.</i> , 1983).	61
TABELA 4.1: PROPORCIONALIDADE ESTABELECIDADA PARA ESTIMATIVA DE VENDA DE PNEUS.....	67
TABELA 4.2: CUSTO DE TRANSPORTE DE PNEUS (REVISTA ECONOMIA E TRANSPORTE, 2007, ADAPTADA).....	76
TABELA 4.3: ESTIMATIVA DO CUSTO DE INSTALAÇÃO DE UM ECOPONTO POR CIDADE CANDIDATA	77
TABELA 4.4: SÍNTESE DOS RESULTADOS DO MODELO INICIAL – CENÁRIO 1.....	79
TABELA 5.1: SÍNTESE DOS RESULTADOS DO CENÁRIO 2 – CAPACIDADE DO ECOPONTO EM 75%	82
TABELA 5.2: SÍNTESE DOS RESULTADOS DO CENÁRIO 3 – CAPACIDADE DO ECOPONTO EM 50%	84
TABELA 5.3: SÍNTESE DOS RESULTADOS DO CENÁRIO 4 – LIMITAÇÃO DA DISTÂNCIA....	88
TABELA 5.4: SÍNTESE DOS RESULTADOS	91

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ABETRE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos
ABIP	Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
ASCOM/MMA	Assessoria de Comunicação do Ministério do Meio Ambiente
ASSOBRAV	Associação Brasileira de Distribuidores Volkswagen
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CFN	Companhia Ferroviária do Nordeste
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPLA/SMA	Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria do Meio Ambiente
DER-CE	Departamento de Edificações e Rodovias do Ceará
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DETRAN-CE	Departamento de Trânsito do Ceará
FAETEC	Faculdade de Tecnologia Thereza Porto Marques
GERA	Grupo de Estudos de Recifes Artificiais
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICRMF	Indicador de Conectividade com a Região Metropolitana de Fortaleza
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
PDOTIP	Plano Diretor e Operacional do Transporte Intermunicipal de Passageiros do Estado do Ceará
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SECEX	Secretaria e Comércio Exterior
UCE	Unidade de Capacitação Empresarial

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O interesse sobre assuntos relacionados à preservação do meio ambiente é crescente em todo o mundo. O desequilíbrio provocado por ações do ser humano na natureza tem preocupado a sociedade contemporânea, que agora clama por atividades ambientalmente corretas e políticas preventivas. Empresas que poluem e degradam o meio ambiente têm sido pressionadas a aderirem o conceito de desenvolvimento sustentável, ou seja, prosperar sem afetar futuras gerações. Vive-se uma época onde é essencial para o planeta encontrar meios de obter o progresso associado ao respeito ao meio ambiente.

Dentro desse contexto, a dificuldade para disposição de pneus no fim de sua vida útil torna-se uma problemática cada vez mais relevante para a sociedade. Nos últimos anos, tem-se evidenciado um aumento significativo na quantidade de pneus produzidos no Brasil. O descarte inadequado de pneus inservíveis acarreta grandes impactos para a natureza, além de prejudicar a saúde humana. Face à constatação de que existem mais de três bilhões de pneus espalhados de forma inadequada no mundo, conforme Heitzman (1992) *apud* Oda (2002), esta questão vem sendo considerada um dos maiores problemas ambientais da atualidade.

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP (2007), só o Brasil produz em torno de 54,5 milhões de pneus por ano e recicla cerca de 10%, sendo que 18,7 milhões é exportado para 85 países e os restantes são usados nos veículos nacionais. A maior parte destes, já desgastados pelo uso, acaba parando nos lixões, na beira de rios e estradas e até no quintal das casas.

O reaproveitamento de pneus inservíveis se constitui um desafio em todos os países, dadas as suas características de durabilidade, quantidade, volume, peso e, principalmente, a grande dificuldade de lhes propiciar uma nova destinação ecológica e economicamente viável. De acordo com Andrietta (2002), estima-se que a durabilidade de um pneu no meio ambiente seja de aproximadamente 600 anos. Assim sendo, as

empresas têm encontrado na reciclagem uma alternativa para a destinação destes resíduos, pois permite o reaproveitamento da borracha, reincorporando-a ao ciclo de negócios.

Dentre as alternativas de reutilização da borracha de pneus, o destaque evidente pode ser dado à incorporação em ligantes asfálticos devido aos benefícios que proporciona, surgindo então como uma potencial solução para a problemática apresentada. Em sinergia com os conceitos de desenvolvimento sustentável e preservação do meio ambiente, esta incorporação tem sido estudada visando ao incremento de desempenho nos pavimentos que utilizam o asfalto modificado por borracha de pneu, bem como os ganhos ambientais da reciclagem e reuso de um rejeito da indústria dos transportes.

Além de ter uma estreita relação com o meio ambiente, o asfalto-ecológico, como é denominada a mistura asfáltica adicionada de pó de pneu velho, também possui ligação direta com o setor de transportes, especialmente o transporte rodoviário. O asfalto é uma infra-estrutura fundamental para a circulação de bens e pessoas no Brasil, especialmente se tratando do estado do Ceará, haja vista a quase inexistência de serviços ferroviários estendidos e a quase impossibilidade de navegação fluvial em larga escala.

O processo de reaproveitamento se dá através de unidades de reciclagem de pneus, onde os mesmos são transformados em pó de borracha para o asfalto-ecológico, também chamado de asfalto-borracha. Todavia, antes de se instalar uma unidade desta, faz-se necessário a realização de estudos que avaliem aspectos relativos à viabilidade do empreendimento. Aliado a isso, várias decisões devem ser tomadas com o intuito de proporcionar uma operacionalização eficiente do sistema. Dentre estas decisões, pode-se evidenciar a determinação do local onde deve ser instalada a fábrica e os ecopontos para recebimento e armazenagem dos pneus inservíveis.

Diante do exposto, este trabalho busca auxiliar a tomada decisão relacionada à localização dos ecopontos, de forma a otimizar o fluxo reverso dos pneus inservíveis no estado do Ceará. Segundo Current *et al.* (2002), tais decisões são freqüentemente estratégicas, envolvendo somas grandes de recursos importantes e com efeitos econômicos a longo prazo. Deste modo, os modelos de localização fornecem meios

sistemáticos ao responsável pelas decisões, uma vez que poderá explorar as várias alternativas a fim identificar uma estratégia ótima de gerência.

Decisões a respeito de localização em uma rede de transporte é um problema relevante e que, de certa forma, influencia substancialmente todo o processo logístico de uma empresa. Em especial para o reaproveitamento de pneus, trata-se da logística reversa. Esta, diz respeito a todas as atividades logísticas envolvendo um produto usado ou rejeitado pelo consumidor, até sua reintegração ao ciclo produtivo. Esse processo reverso é de ampla importância para garantir um bom desempenho do sistema de aproveitamento da borracha de pneus inservíveis em ligantes asfálticos, ao modo que se faz necessária uma grande estrutura logística para que as cidades do Ceará sejam cobertas.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

A logística reversa de pneus apresenta características bastante peculiares e complexas no que se refere ao transporte e armazenagem, a qual está profundamente atrelada aos atributos físicos do pneu, como peso e tamanho. Essas características, um tanto quanto adversas, é que determinam a necessidade de um planejamento adequado das operações desse sistema logístico.

A decisão de onde instalar ecopontos é uma importante etapa no processo de planejamento da logística reversa, visto que, a partir da localização destes armazéns, é que se têm subsídios para montar toda estrutura logística e ainda gerar rotas otimizadas de coleta dos pneus. O objetivo do processo é minimizar os custos de transporte dos pneus e de instalação dos ecopontos, dinamizando assim o fluxo reverso deste produto no Ceará.

O que se percebe é uma falta de planejamento por parte das empresas no que se refere à localização de galpões que sirvam de armazéns para dinamizar a logística reversa. O problema de localização pode ser definido como um problema de alocação espacial de recursos, sendo que cada empresa procura escolher a localização que leve à minimização dos custos de suas atividades.

Na maioria dos casos, esses estudos são realizados intuitivamente e acabam por não considerar variáveis importantes relacionadas ao transporte. Instalam-se os galpões em determinados locais sem uma previa análise quantitativa e estabelecem-se manualmente as rotas dos veículos. Por serem estruturas fixas, os armazéns não podem ser alterados de lugar e acabam gerando programações de rotas longas, com altos custos de transporte. Com isso, a empresa não tem informações suficientes para assegurar que a localização estabelecida é a melhor e a mais eficiente.

Portanto, o procedimento atualmente utilizado para se obter o local de implantação de ecopontos para armazenagem de pneus, na maioria das vezes, não garante soluções eficientes e que venham a minimizar custos de transporte.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Determinar uma configuração adequada para a rede de coleta de pneus inservíveis no estado do Ceará, identificando a localização apropriada para instalação de ecopontos e propondo ações que auxiliem na dinamização do fluxo reverso de pneus.

1.2.2 Objetivos Específicos

Foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos para o desenvolvimento desta pesquisa:

- a. Analisar o reaproveitamento da borracha de pneus em ligantes asfálticos como uma das possíveis vertentes da reciclagem de pneus inservíveis;
- b. Estimar as demandas de pneus para cada cidade do estado e aferir os custos de transporte e infra-estrutura de armazenagem;
- c. Mapear a possível rede de movimentação dos pneus inservíveis através da identificação das cidades que devem ser incluídas como candidatas a receber ecopontos;

- d. Conceber e implementar um modelo computacional de localização que contemple as melhores cidades para instalação de ecopontos, considerando, para tanto, a operacionalização do sistema e os menores custos de instalação e de transporte;
- e. Identificação de ações potenciais que dinamizem a coleta urbana de pneus inservíveis, produzindo alternativas para que o tomador de decisão possa recolher e gerenciar estes pneus.

1.3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este trabalho de pesquisa engloba diversas áreas de interesse. Assim, existe a necessidade inicial da definição dos principais assuntos, para posterior efetivação de uma revisão bibliográfica ampla, incluindo pesquisas em livros, periódicos, internet e outras fontes confiáveis. Definiram-se como as principais áreas de estudos desta dissertação: os modelos de localização, a logística reversa e o asfalto-ecológico. Entretanto, como o objeto de estudo está diretamente relacionado aos pneus inservíveis, procurou-se focar em questões referentes a esse tópico, visando também identificar suas principais adversidades e finalidades após seu ciclo de vida.

Os estudos de localização de ecopontos no estado do Ceará, objetivo principal deste trabalho, deram-se inicialmente através de levantamento de dados referentes à frota de veículos e à quantidade de pneus vendidos no estado. De posse desses números, definiu-se uma metodologia para estimar a quantidade de pneus inservíveis gerados por ano em cada cidade do Ceará. No presente estudo, os dados mais relevantes foram obtidos através do Departamento de Trânsito do Ceará - DETRAN-CE, Departamento de Edificações e Rodovias do Ceará - DER-CE, Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP e Revista Economia e Transporte, onde se obteve também os custos de transporte e as capacidades de diversos tipos de caminhões.

Para uma análise quantitativa da logística reversa, fez-se necessário a utilização de modelos de pesquisa operacional, visando otimização do fluxo reverso dos pneus como um todo. Desta forma, desenvolveu-se um modelo de localização através de programação linear aplicável no *software* LINGO® 8.0, patenteado pela empresa LINDO Systems, Inc ®.

Por se tratar de um problema de otimização, os resultados obtidos para diferentes cenários foram analisados através da comparação dos valores financeiros e da viabilidade operacional, visando com isso obter aquela solução que não apenas apresente os menores custos, mas também seja adequada à realidade.

Por fim, tendo conhecimento dos atores da cadeia reversa, foi proposta, de forma simplificada, uma rede reversa de captação, transporte e destinação final dos pneus inservíveis em nível de cidades, ainda que, neste caso, oferecendo ênfase maior na descrição e análise qualitativa dos fatos, do que em sua quantificação.

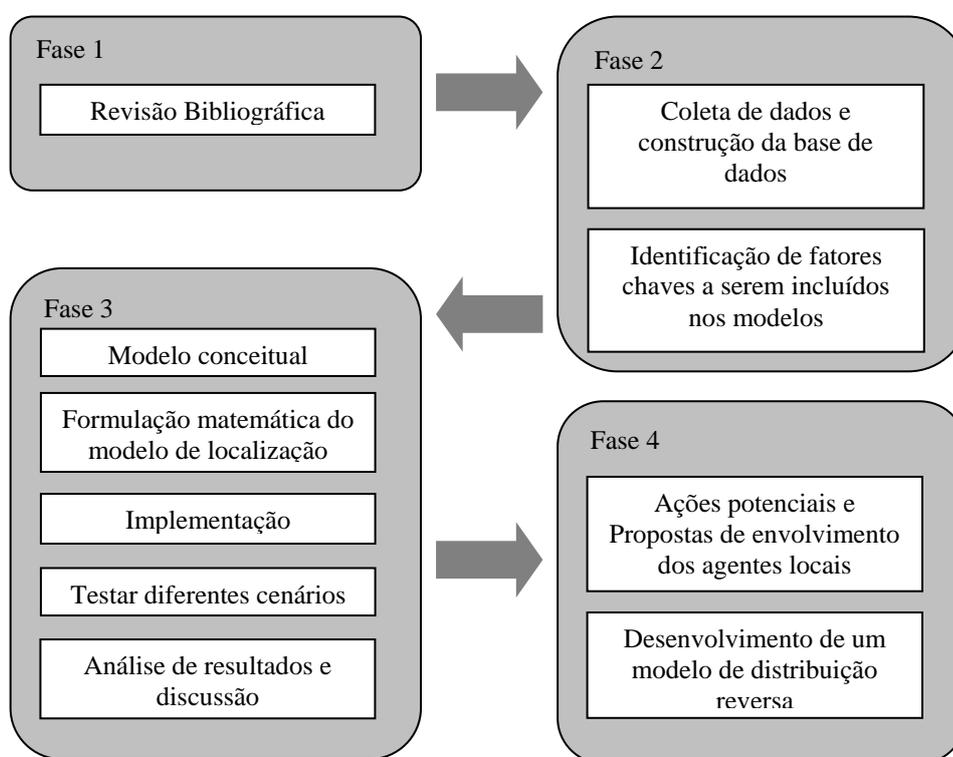


Figura 1.1: Metodologia usada para elaboração do estudo

De forma resumida, a metodologia usada no desenvolvimento desta dissertação, apresentada na Figura 1.1, consiste, essencialmente, nas seguintes grandes etapas:

1. Revisão bibliográfica de reciclagem de pneus inservíveis, asfalto ecológico, logística reversa de pneus e problemas de localização;
2. Coleta e análise dos dados, a fim de organizar uma base de dados e identificar os fatores-chave a serem considerados no modelo de localização;
3. Execução do modelo, discussão dos resultados e identificação de melhorias adicionais;

4. Desenvolvimento de alternativas para que o tomador de decisão possa recolher e gerenciar os pneus

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A resolução do problema proposto neste trabalho, bem como a fundamentação teórica que o embasa, é organizada em seis capítulos, sendo o primeiro este capítulo introdutório. No desenvolver deste capítulo é relatada a estrutura geral desta dissertação, descrevendo a importância e o motivo pela opção de estudo do tema proposto. Ainda são descritos os objetivos geral e específicos, a identificação do problema e a descrição da metodologia da pesquisa.

O Capítulo 2 descreve o embasamento teórico da reciclagem de pneus inservíveis, abordando a caracterização geral desse produto, o problema ambiental que envolve sua destinação, as diversas opções de gerência e disposição final, os processos de reaproveitamento da borracha e seu emprego na pavimentação através do asfalto-ecológico. Em seqüência, discorre sobre os conceitos de logística reversa, dando ênfase às características físicas dos pneus que influenciam diretamente a gestão de armazenagem e transporte, tendo ainda uma abordagem de fatores legais e gerenciais.

O Capítulo 3 enfatiza os modelos de pesquisa operacional, em especial os de localização, abordando as definições, a importância de sua utilização na logística reversa de pneus, os benefícios no emprego destes modelos e o valor de um aparato computacional nas tomadas de decisões referentes ao local de instalações fabris. É realizada ainda uma breve revisão bibliográfica sobre problemas de roteamento, tendo em vista a importância deste tema para estudos futuros.

O Capítulo 4 apresenta o inventário de pneus inservíveis gerados no Ceará, o qual é embasado em uma metodologia que visa estimar a quantidade de pneus através da frota de cada cidade. Posteriormente, é proposto e aplicado o modelo de localização. Detalham-se as atividades realizadas na formulação e apresentam-se as variáveis de decisão, restrições e circunstâncias experimentais testadas.

O Capítulo 5 analisa os resultados obtidos e apresenta uma discussão a partir das diferentes configurações da rede de coleta de pneus inservíveis. Além disso, esse

capítulo identifica ações potenciais que dinamizem a coleta de pneus interna de cada cidade, propondo um modelo simplificado de distribuição reversa desde o descarte dos pneus velhos até a unidade de reciclagem, visando à posterior incorporação da borracha reciclada na mistura asfáltica.

O Capítulo 6 é dedicado às considerações finais, enfocando as contribuições do trabalho, relatando as conclusões provenientes do estudo realizado e sugerindo possíveis caminhos a serem seguidos por estudos futuros na mesma linha de pesquisa.

CAPÍTULO 2

GERÊNCIA INTEGRADA DE PNEUS INSERVÍVEIS

No mundo atual, o pneu tem papel vital e insubstituível considerando o transporte de cargas e passageiros. Em especial no Brasil, essa dependência é ainda mais evidente devido ao desequilíbrio da matriz dos transportes, que é marcada pela alta participação do modal rodoviário. Todo o fluxo de materiais e pessoas, que se valem das estradas do país, fazem com que, cada vez mais, o uso do pneu seja imprescindível.

Entretanto, quando se tornam inservíveis, são considerados passivos ambientais e, geralmente, representam um problema, servindo de criadouros de mosquitos e roedores, além de gerarem incêndios alarmantes. Assim, há a necessidade específica de encontrar uma solução apropriada para sua gerência. Esta gerência de pneus inservíveis, contínua e integrada, pode ser entendida como a seleção e aplicação de técnicas, tecnologias e programas de gestão apropriados.

Uma hierarquia pode ser usada para guiar as ações desse processo de administração de pneus. Primeiramente, procura-se a prevenção, ou seja, diminuir o desgaste dos pneus, aumentando seu tempo de rodagem e reduzindo a produção deste produto. Em seguida, faz-se necessário despejá-los, armazená-los e transportá-los de forma adequada. Finalmente, deve-se reutilizar a matéria-prima dos pneus através da reciclagem.

2.1 MERCADO BRASILEIRO DE PNEUS

A indústria de pneus no Brasil atravessa um ciclo de investimentos segundo Goldenstein *et al.* (2007). O autor afirma que o setor tem previsão de aumento de 30% de sua capacidade instalada. Duas novas plantas industriais foram instaladas recentemente no estado da Bahia e as outras unidades das montadoras de automóveis estão sendo ampliadas e/ou modernizadas.

Tais investimentos devem-se a fatores como o aumento da demanda no mercado interno, o cenário favorável às exportações e o deslocamento da indústria mundial de

pneus para países onde a mão-de-obra é mais barata, o que têm aquecido a produção nacional.

As principais fabricantes mundiais de pneus, estão presentes no país. As empresas Continental, Goodyear, Michelin, Bridgestone/Firestone e Pirelli, possuem juntas doze unidades fabris no território nacional, como mostra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Fabricantes de Pneus Instalados no Brasil

Empresas	Numero de Fábricas	Localização
Continental	1	Camaçari(BA)
Goodyear	2	São Paulo e Americana(SP)
Michelin	2	Rio de Janeiro e Itatiaia(RJ)
Bridgestone/Firestone	2	Santo André e Camaçari(BA)
Pirelli	5	Campina(SP), Santo André(SP), Sumaré(SP), Feira de Santana(BA) e Gravataí(RS)

A produção nessas unidades vem crescendo ao longo dos últimos anos, como mostra o Gráfico 2.1. De acordo com a ANIP (2007), em 2006 foram produzidos cerca de 54,5 milhões de pneus, com volume de vendas internas em torno de 38,5 milhões de unidades, incluindo as importações diretas e exportações da ordem de 18,7 milhões.

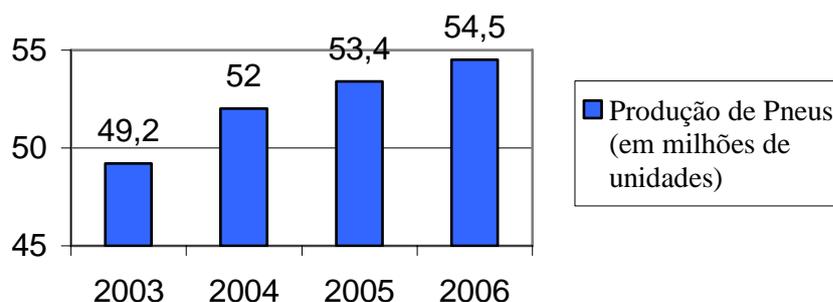


Gráfico 2.1: Produção Nacional de Pneus (ANIP, 2007, adaptada).

As vendas são destinadas a três segmentos diferentes. As montadoras respondem por 26% das vendas e o mercado de reposição, que é composto por lojas revendedoras de pneus, responde por 42%. As exportações representam 32% das vendas destinadas a cerca de cem países, principalmente Estados Unidos, França, Argentina e México (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

O Gráfico 2.2 apresenta a destinação das vendas de acordo com cada segmento consumidor. Pode-se observar que as vendas para as montadoras e as exportações estão num movimento crescente, enquanto o volume destinado ao mercado de reposição sofreu uma queda. Esse declínio pode ser atribuído ao crescimento da participação dos pneus remoldados e chineses no mercado de reposição, tornando o setor mais acirrado e complexo.

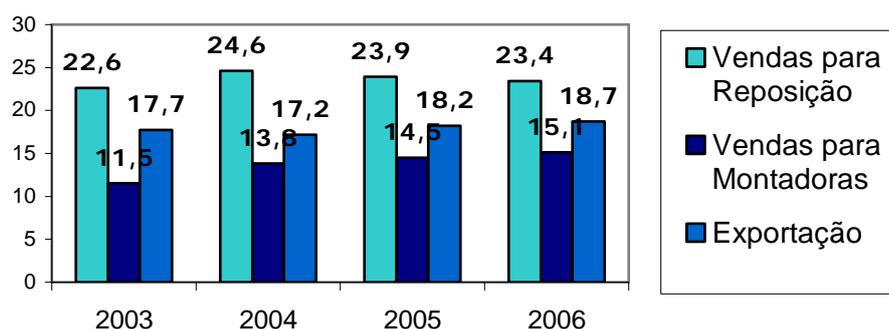


Gráfico 2.2: Segmentação das Vendas de Pneus Novos (ANIP, 2007, adaptada).

Os fabricantes locais de pneus, que já vinham mantendo uma disputa acirrada com os reformadores de pneus, agora voltam suas energias contra as importações de pneus chineses. Segundo a *Automotivebusiness* (2007), vem sendo despejada no País uma quantidade crescente de produtos a preços até 40% inferiores, acarretando aos fabricantes brasileiros uma perda de 8% na participação das vendas em 2006. Os chineses elevaram para 1,7 milhão de unidades suas vendas ao Brasil, crescendo 190% em relação a 2005.

Contudo, não foram apenas os fabricantes nacionais que perderam espaço, os reformadores começaram a ser atingidos diretamente no varejo, onde seus pneus custam o mesmo valor dos chineses. Conforme a *Automotivebusiness* (2007), a empresa BS Colway, líder no ramo de remoldagem no Brasil, para não perder a disputa, decidiu fazer uma aliança com fabricantes chineses e importar pneus com sua marca a partir de 2008.

A competitividade dos pneus remoldados se dá, em grande parte, pelo uso de carcaças de pneus velhos importados da Europa a custos bem reduzidos, servindo como matéria-prima para remoldagem. Todavia, essa importação se tornou o centro de uma

polêmica de âmbito nacional entre os diversos atores do setor. Essa discussão não se restringe a uma disputa de mercado, mas avança pelos campos jurídico e político, envolvendo órgãos de proteção ambiental que temem pelo aumento da quantidade de pneus inservíveis a médio e longo prazos.

Por causa da difícil eliminação dos pneus abandonados e dos danos que eles podem causar ao meio ambiente, dar um fim adequado a esse produto é um desafio enfrentado em todo o mundo. Diante disso, os países europeus têm adotado normas rigorosas para destinar seus pneus usados. Uma das alternativas apoiadas pela Europa é incentivar a exportação para países em desenvolvimento, onde são reformados, reutilizados ou simplesmente descartados. Tais incentivos fazem com que as carcaças de pneu cheguem aos seus destinos com custos bastante reduzidos para os importadores (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

De acordo com os dados da Secretaria e Comércio Exterior – SECEX (2007), a importação de pneus usados tem crescido exponencialmente nos últimos anos. De um patamar de 2 milhões de unidades em 2001, foram importados mais de 10 milhões de pneus usados em 2005. Conforme mostrado pelo Gráfico 2.3, em que pese a redução do volume importado em 2006, verifica-se um crescimento superior a 500% no período de 2000 a 2005.

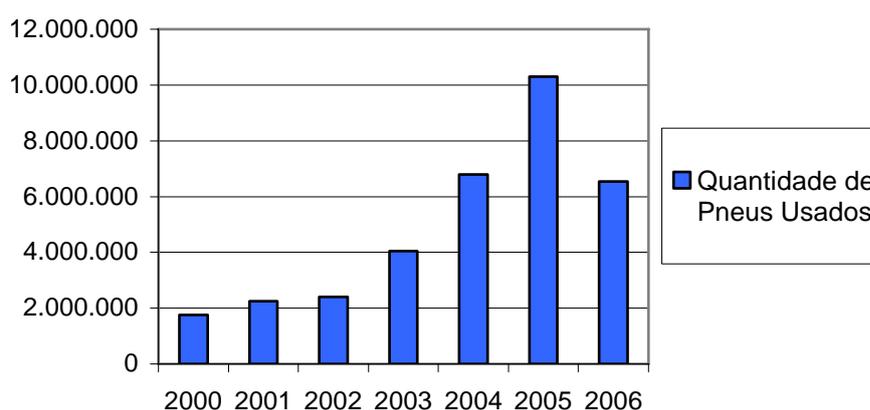


Gráfico 2.3: Importação de Pneus Usados (SECEX, 2007).

2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS

O pneu, depois de usado por certo período, perde sua utilidade no veículo e torna-se um resíduo, necessitando, portanto, receber tratamento e disposição adequada para não ocasionar danos à população e ao meio ambiente. Os pneus descartados de forma inadequada não apenas abrigam mosquitos e outros agentes transmissores de doenças, mas também devastam o meio ambiente e pegam fogo por causas criminosas ou acidentais.

Segundo a Health Protection Agency (2003), com um valor calorífico maior que o do carvão e com propriedades que, normalmente, tornam os incêndios impossíveis de se extinguir rapidamente, pneus acumulados em grandes quantidades queimam durante semanas, meses ou, até mesmo, anos. A Figura 2.1 mostra um incêndio em uma pilha de pneus nos Estados Unidos.



Figura 2.1: Incêndio de Pneus (ODA, 2000).

Essa queima libera óleo pirolítico que contém produtos químicos tóxicos e metais pesados capazes de produzir efeitos adversos à saúde, tais como perda de memória, deficiência no aprendizado, supressão do sistema imunológico, danos nos rins e fígado. Esse óleo pode viajar longas distâncias, contaminando solo e água, além de penetrar em lençóis freáticos. Estudos demonstram que a poluição de águas causada pelo escoamento derivado da queima de pneus pode durar até 100 anos (ASCOM/MMA, 2006).

A queima do pneu emite ainda uma fumaça tóxica e pode representar riscos de mortalidade prematura, deterioração das funções pulmonares, problemas do coração e depressão do sistema nervoso. Ainda assim, a incidência de incêndios de pneus é comum. Só em Minas Gerais foram registrados 338 incêndios de pneus desde o ano 2000; no Distrito Federal foram 64 desde 2002 e o Paraná registrou 63 somente em 2005 (ASCOM/MMA, 2006).

Resíduos de pneus apresentam-se aos governos como um problema de saúde pública crescente e grave. Quando abandonados ou estocados em grandes entulhos e sem proteção, servem de criadouros para mosquitos transmissores de dengue, febre amarela e malária. A forma física do pneu é propícia à acumulação de água parada, o que estimula a proliferação de larvas de insetos. Tal problema é particularmente sensível para países de climas tropicais como o Brasil, onde o volume de chuvas é significativamente elevado.

Dentre as doenças, a dengue é considerada a mais alarmante, sendo uma das principais preocupações internacionais de saúde pública. Os mosquitos transmissores dessa doença se reproduzem em recipientes que acumulam águas pluviais, em particular pneus usados. Segundo Kennedy e Lucks (1999), um pneu pode servir como criadouro de milhares de mosquitos em apenas um verão e nem mesmo a fumigação é completamente eficiente para eliminar ovos e larvas em pilhas de pneus. O mesmo autor comenta que a eliminação do mosquito adulto em pilhas de pneus requer adulticidas, ou seja, produtos químicos tóxicos que não são ambientalmente benignos. Além disso, é normalmente difícil adentrar a pilha de pneus o suficiente para atingir os mosquitos.

Outro problema causado por pneus inservíveis é o assoreamento. Quando jogados em rios e córregos, os pneus obstruem a passagem da água e podem causar alagamentos e transtornos à população. A Figura 2.2 mostra entulhos de pneus retirados do rio Tietê em São Paulo. De acordo com o Jornal Nacional (2003), só em 2002 foram removidos 80 mil pneus do Tietê, sendo que todo o trabalho de recolher, lavar e mandar para a reciclagem é pago com dinheiro público. Os pneus jogados nos rios, por consumidores e borracheiros, também ameaçam grandes regiões da cidade, pois dificultam a vazão da água e o resultado do descaso aparece.



Figura 2.2: Pneus Retirados do Rio Tietê (ODA, 2000).

2.3 ASPECTOS LEGAIS

Frente aos impactos ambientais provocados pelo descarte inadequado de pneus inservíveis, o Brasil implementou um pacote abrangente de leis e medidas para proteger sua população dos riscos à saúde oferecidos por estes resíduos.

Visando estimular o recolhimento e a destinação correta de pneus, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA do Brasil publicou a Resolução Nº. 258 de 26 de agosto de 1999, na qual foi estabelecida uma obrigação legal aos fabricantes e importadores de pneumáticos. Esta resolução estipula que as empresas ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção estipulada em cronograma previsto nesta. A partir de janeiro de 2002, produtores e importadores de pneus seriam forçados a coletá-los e condicioná-los em locais apropriados. Esta resolução determinou ainda que, a partir de 2005, se iniciasse a redução do passivo ambiental criado pela disposição inadequada de pneus.

Quanto ao mérito, a Resolução CONAMA nº 258/99 (ANEXO 1), foi o primeiro ato legal, instituído no Brasil, com relação aos procedimentos a serem adotados com referência aos pneumáticos inservíveis (CIMINO, 2004). Em sua introdução, a resolução admite que os pneumáticos inservíveis, abandonados ou dispostos inadequadamente, compõem um passivo ambiental, ocasionando graves riscos ao meio ambiente e à saúde pública.

No que se refere à disposição de pneus inservíveis, a Resolução CONAMA nº 258/99, em seu art. 9º, proíbe:

- O descarte desse resíduo sólido nos aterros sanitários, bem como no mar, em terrenos baldios ou alagadiços, margens de vias públicas, cursos d'água e praias;
- A queima desses resíduos sólidos, exceto destinados à obtenção de energia, efetuada por métodos suscetíveis a causar danos à saúde humana ou ao meio ambiente, em face de queima de pneus a céu aberto ocasionarem problemas ambientais mais sérios.

Contudo, em decorrência de não terem ficado claras as regras quanto à proibição de importação de pneus usados, o que deu margem à concessão de diversas liminares e mandatos de segurança para a importação desse tipo de pneus em 2002 e 2003, esta Resolução, CONAMA nº 258/99, teve alguns dispositivos alterados pela Resolução CONAMA nº 301/02 (ANEXO 2) em 21 de março de 2002.

Segundo Bressan (2003) *apud* Cimino (2004), tal resolução reforçou a obrigatoriedade da destinação final adequada para os pneus novos e reformados importados, estendendo a co-responsabilidade a reformadores e carcaceiros, com a intenção de manter a proibição de importação de pneumáticos usados. No entanto, cabe mencionar que a importação de pneus novos e usados ocorreu até a entrada em vigor desta Resolução CONAMA nº 301/02, a partir de 1º de janeiro de 2004.

No que se refere aos dispositivos mantidos e acrescentados a Resolução CONAMA nº 258/99, define-se que, do ano de 2002 até 2005, deverão ser recolhidos e destinados corretamente os pneus conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Quantidades proporcionais para coleta e destinação final de pneus inservíveis.

Ano	Pneus novos nacionais e importados	Destinação aos pneus inservíveis	Pneus reformados importados	Destinação aos pneus inservíveis
2002	4	1	-	-
2003	2	1	-	-
2004	1	1	4	1
2005	4	5	3	4

Isso significa que os fabricantes e importadores de pneumáticos deverão coletar e dar destinação final adequada aos pneus inservíveis de forma gradual, ou seja, no ano de 2002 as empresas responsáveis tinham de dar destino final adequado a 25% do total de pneus produzidos no país ou importados, enquanto que, no ano de 2003, esta relação deveria ser de 50%. No ano de 2004, as empresas precisaram se comprometer a destinar corretamente 1 pneu inservível para cada pneu novo produzido no país ou importado novo, constituindo uma proporção de 100%, sendo que essa relação deveria ser de 125% para importados reformados. Para o ano de 2005, a resolução exigia o correto tratamento para 125% da quantidade de pneus novos produzidos no Brasil ou importados, e 133% do montante de pneus importados reformados.

Devido a essa problemática e às exigências legais, vários esforços estão sendo desenvolvidos no sentido de encontrar soluções que visem satisfazer a todos os envolvidos, que estariam representando a sociedade, os fabricantes de pneus e os importadores. Assim sendo, torna-se crescente as aplicações para os pneus que chegaram ao final de sua vida útil.

2.4 OPÇÕES DA GERÊNCIA E REUTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS

A procura por opções de reutilização de pneus inservíveis tem proporcionado a maior coleta desse resíduo e a diminuição deste passivo ambiental. Posteriormente ao recolhimento, os pneus podem ser aproveitados em alternativas que têm a capacidade de consumir muitas toneladas de borracha e outras que exploram a criatividade e a diversidade do aproveitamento de sua carcaça. As novas aplicações estão sendo desenvolvidas com bastante sucesso, seja pela adoção dos pneus inteiros, seja pela utilização de materiais oriundos dos mesmos.

Atualmente, existem muitas formas de reaproveitamento de pneus. As reciclagens, cujos processos não mudam as composições químicas do material, são denominadas de reciclagens mecânicas, como é o caso da reforma. Enquanto que os processos que alteram as propriedades químicas do pneu são intitulados de reciclagens químicas ou industriais, como a desvulcanização (ANDRIETTA, 2002). Algumas aplicações que podem ser feitas com os pneus estão listadas nos itens a seguir.

2.4.1 Reforma de Pneus

Ao final de sua vida útil, os pneus podem ser classificados em reformáveis ou não-reformáveis. Os primeiros são os que têm possibilidade de ser novamente utilizados como pneus após passar por uma reforma rigorosa, proporcionando a obtenção de um produto de qualidade e seguro. Já os pneus não reformáveis, também chamados de inservíveis, são aqueles que não servem mais para rodar em veículos e necessitam ter destinos diferentes.

Em meio às aplicações que têm por objetivo a reutilização do pneu reformável conservando sua utilidade e forma física, destacam-se a recauchutagem e a remodelagem. A recauchutagem consiste na retirada da banda de rodagem desgastada, para que então, por meio de um novo processo de vulcanização, seja colocada uma nova banda de rodagem na carcaça do pneu.

A Figura 2.3 ilustra a recauchutagem de um pneu. Segundo a ASSOBRAV (2004), para que um pneu possa passar por esse processo são necessários alguns requisitos, como a ausência de cortes e deformações na estrutura geral do pneu e a banda de rodagem contendo os sulcos e saliências que permitam sua aderência ao solo. Existe ainda uma limitação na quantidade de vezes que um pneu pode ser recauchutado sem comprometer seu desempenho e sua segurança, ou seja, após certo tempo o pneu velho torna-se inservível.



Figura 2.3: Recauchutagem de Pneus

De acordo com Piccinin e Freiesleben (2005), o Brasil ocupa o segundo lugar no ranking mundial de recauchutagem de pneus, atingindo 70% da frota de transportes de carga e passageiros. Estima-se que, no Brasil, sejam reformados 8 milhões de pneus de caminhão por ano e 4 milhões de pneus de veículos de passeio. Tal abrangência, segundo Oda (2003), deve-se ao fato do referido processo aumentar o tempo de vida de utilização do pneu em cerca de 40%, além do pneu recauchutado apresentar valor de mercado até 70% mais barato que o pneu novo.

Neste contexto, entende-se que a recauchutagem de pneus está mais voltada para veículos pesados, uma vez que, em veículos leves, este processo não apresenta muitas vantagens econômicas, pois os pneus novos, para esses automóveis, são considerados baratos quando comparados aos pneus de caminhões e ônibus.

Outro processo de reforma de pneumáticos é a remoldagem. Esta se diferencia da recauchutagem por remover, além da banda de rodagem, as partes laterais dos pneus, de modo que todo pneu ganha uma nova camada de borracha e sofre um novo processo de vulcanização.

É importante salientar que dados do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO indicam que um pneu remoldado pode ser considerado como um pneu novo. Contudo, é fato que os pneus remoldados, por utilizarem carcaças usadas como matéria-prima, devem ser intitulados de novos produtos feitos a partir de pneus usados.

A empresa BSColway é a líder do mercado brasileiro de pneus remodelados e, conforme Simeão (2005), possui capacidade máxima de fabricação da ordem de 238 mil pneus por mês, o que atende cerca de 40% da demanda desses tipos de produto no país. A Figura 2.4 mostra o setor de vulcanização de fábrica de remoldagem de pneus da BS Colway.

A reforma, tanto por recauchutagem como por remoldagem, é entendida como a maneira mais racional de utilização de uma carcaça de pneu descartado em boas condições. Entretanto, esta não elimina o problema dos pneus inservíveis e, sim, prolonga o tempo de vida útil dos pneumáticos.



Figura 2.4: Fábrica da BS Colway (SIMEÃO, 2005)

2.4.2 Disposição em Aterros Sanitários

No Brasil, desde 2 de dezembro de 1999, conforme a Resolução nº 258 do CONAMA, está proibida a destinação final de pneumáticos inservíveis em aterros sanitários. No entanto, a maior parte dos pneus descartados continua indo parar em aterros públicos ou clandestinos.

Existem também aterros que contêm somente pneus, como pode ser visualizado na Figura 2.5. Estes são mais aceitáveis, visto que proporcionam melhor recuperação energética e da matéria-prima do produto. Todavia, devido às substâncias inflamáveis presentes no pneu, esses depósitos correm riscos de incêndios que podem causar danos à sociedade e ao meio ambiente.

Além disso, quando dispostos em aterros sanitários, por apresentarem baixa compressibilidade, os pneus reduzem a vida útil dos aterros, como também, por absorverem os gases liberados pela decomposição de outros resíduos, incham e estouram a cobertura desses aterros (WAGNER e CARABALLO, 1997). Portanto, entende-se que é necessário estudar alternativas para a reciclagem de pneus, utilizando-o em situações mais nobres do que simplesmente descartá-los em aterros sanitários.



Figura 2.5: Aterros para Disposição de Pneus Inservíveis

A busca por melhores alternativas de descarte levou à utilização da borracha de pneus na cobertura dos próprios aterros. Segundo Specht (2004), o pó, ou farelo, ou raspa de pneus, é usado como cobertura diária de aterros sanitários para evitar a proliferação de roedores e insetos, além de impedir o espalhamento do lixo pelo vento. Não há necessidade de remoção desta cobertura, ao contrário do que seria a prática em caso de utilização de solo. As camadas de borracha podem auxiliar também na drenagem interna dos aterros.

2.4.3 Edificações e Contenção de Encostas

Os pneus inservíveis podem ser usados de diversas formas na construção civil, servindo para fazer muros ou, até mesmo, paredes de galpões, sendo excelentes como isolante térmico e acústico. Specht (2004) argumenta que os pneus são preenchidos com solo local e possuem algumas vantagens em relação às paredes tradicionais, tal como flexibilidade para absorver possíveis recalques nas fundações. O mesmo autor ainda cita que, no Brasil e em outros países, já existem experiências bastante recentes da utilização de pneus inteiros para construção de edificações.

O uso de pneus na construção tem a dupla finalidade, pois além de baratear os custos das habitações, evita o descarte destes produtos no meio ambiente. Oda (2003) comenta que, nas montanhas altas e frias do Chile, alguns residentes acharam um meio de construir uma casa que é barata e confortável. Os materiais utilizados na construção

são pedras locais, pneus velhos, vigas de madeira e uma quantia pequena de cimento. Ainda segundo Oda (2003), no Brasil este método de construção, exemplificado na Figura 2.6, foi demonstrado no Estado do Mato Grosso do Sul, através de oficinas de construção pelo Instituto de Permacultura Cerrado-Pantanal.



Figura 2.6: Construção de Edificações com Pneus (ODA, 2003)

Existem também no Brasil várias experiências de construção de muros de arrimo utilizando pneus velhos. De acordo com Silva (2004), os pneus usados na contenção de encostas são amarrados lado a lado, com arame galvanizado ou corda, e preenchidos com pedras ou com o próprio solo local. Assim, formam estruturas semelhantes aos muros de sustentação feitos de pedras arrumadas dentro de uma tela, porém com custo de investimento bastante reduzido. A Figura 2.7 apresenta a utilização de pneus na contenção de encostas.



Figura 2.7: Muro de Pneus na Contenção de Encostas (SILVA, 2004)

2.4.4 Recifes Artificiais

Os recifes artificiais são estruturas que, colocadas no fundo do mar, oferecem substrato e habitat para diversos organismos, estabelecendo uma cadeia alimentar no local e oferecendo proteção contra a ação destrutiva das redes de arrasto. Suas principais funções são: concentrar organismos para permitir uma pesca mais eficiente; proteger juvenis e áreas consideradas berçário da ação das redes; aumentar a produtividade natural e recuperar a fauna e a flora degradada; limitar a pesca em áreas onde a pescaria comercial compete com a artesanal (CPLA/ SMA, 2007).

No Brasil, os pneus usados são reaproveitados como estrutura destes recifes artificiais no mar, visando ao aumento da produção pesqueira. Nessa visão, pesquisadores do Grupo de Estudos de Recifes Artificiais – GERA, do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, criaram uma estrutura feita de pneus inservíveis que estimula o agrupamento e a permanência de organismos com importância econômica, como peixes e camarões. O projeto já foi implementado em vários municípios do litoral cearense, conforme mostra a Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Recifes Artificiais de Pneus no Estado de Ceará.

Municípios	Praias
Fortaleza	Goiabeiras, Mucuripe, Pirambu, e Servluz
Itapipoca	Baleia
Cascavel	Caponga
Beberibe	Parajuru e Sucatinga
Acaraú	Barrinha
Icapuí	Barreiras, Peroba e Tremembé
Caucaia	Cumbuco
Paracuru	Barra
Fortim	Barra

Cabral (2006) explica que, por ser um material descartável, barato e de grande durabilidade, os pneus eram muito usados na construção dos recifes no litoral nordestino, principalmente no Ceará, mas esse método não foi mais permitido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, porque, com o tempo, a deteriorização da borracha acabava poluindo o mar. Neste contexto, apesar da implantação de recifes artificiais na zona costeira ser vista como

solução para o problema de degradação dos estoques pesqueiros, não é considerada uma destinação ambientalmente correta para os pneus velhos.

2.4.5 Recuperação de Áreas Degradadas

Outra opção de gerência do pneu, ainda conservando sua forma física, é a sua utilização em áreas que sofreram erosão. A técnica consiste em depositar os pneus no fundo da cratera, conforme ilustrado nas Figura 2.8. Cappi (2004) afirma que este sistema permite a recuperação de grandes áreas degradadas, onde são depositados material estéril, entulho, terra e pneus, formando pequenas barreiras posteriormente revegetadas. O autor coloca ainda que o método também possui a capacidade de contribuir para a drenagem da área, funcionando como um “colchão drenante”.



Figura 2.8: Utilização de Pneus na Recuperação de Erosões (CAPPI, 2004)

As fotografias, representadas na Figura 2.8, referem-se à mesma área, vista do mesmo ângulo, durante o enterro de pneus no ano de 1998 e, três anos após, com o restabelecimento parcial da vegetação gramínea (CAPPI, 2004).

O maior benefício desta técnica é gerar uma alternativa viável para a recuperação de erosões a um custo relativamente baixo, além de contribuir significativamente para diminuição dos problemas causados pelos pneus inservíveis. Sparovek *et al.* (2001) *apud* Cappi (2004) mencionam que, no município de Piracicaba-SP, utilizou-se aproximadamente 130 mil pneus como material de preenchimento de uma única erosão, sendo que esta quantidade de pneus inservíveis é produzida no município num período de aproximadamente quatro anos.

2.4.6 Dormente Ferroviário

A confecção de dormentes a partir de pneus usados é uma prática bastante recente e inovadora. Os pneus são cortados em formas retangulares, estas são empilhadas e comprimidas até atingir a altura de 17 centímetros, padrão das ferrovias brasileiras, conforme a Figura 2.9.



Figura 2.9: Laminas de Borracha sob Carregamento (BONENTE *et al.*, 2006)

Segundo Bonente *et al.* (2006), desde o surgimento da ferrovia, por suas características físicas, a madeira foi o material de comportamento mais satisfatório. Esta, cumpria as funções principais do dormente, que é ser o elemento de transferência de cargas do trilho para o lastro. Porém, com o aumento do consumo e conseqüente escassez, passou-se a se adotar e pesquisar outros materiais, como concreto, metal e plástico.

Neste cenário de mudanças, que visa à substituição da madeira tanto por razões econômicas quanto ambientais, o pneu surge como uma opção criativa e benéfica, sobretudo para sociedade.

2.4.7 Drenagem

Outra alternativa muito criativa tem sido desenvolvida com sucesso principalmente em áreas rurais. Trata-se da produção de tubos de drenagem utilizando módulos compostos por vários pneus cortados ao meio e amarrados, como mostra a Figura 2.10. Os tubos medem cerca de 50 centímetros e são compostos de aproximadamente 40 talões de pneus prensados e amarrados.



Figura 2.10: Tubos de Drenagem de Águas Pluviais (ODA, 2003)

2.4.8 Artefatos de Borracha

Diversos produtos estão sendo obtidos a partir da borracha proveniente de pneus. Primeiramente, os pneus passam por um processo de trituração, seguido de desvulcanização e posterior transformação em uma pasta, através da adição de óleos aromáticos. Esta pasta serve de matéria-prima para tapetes, solas de sapato, paletes, estrados, buchas para eixos de caminhões e ônibus, entre outros mostrados na Figura 2.11.

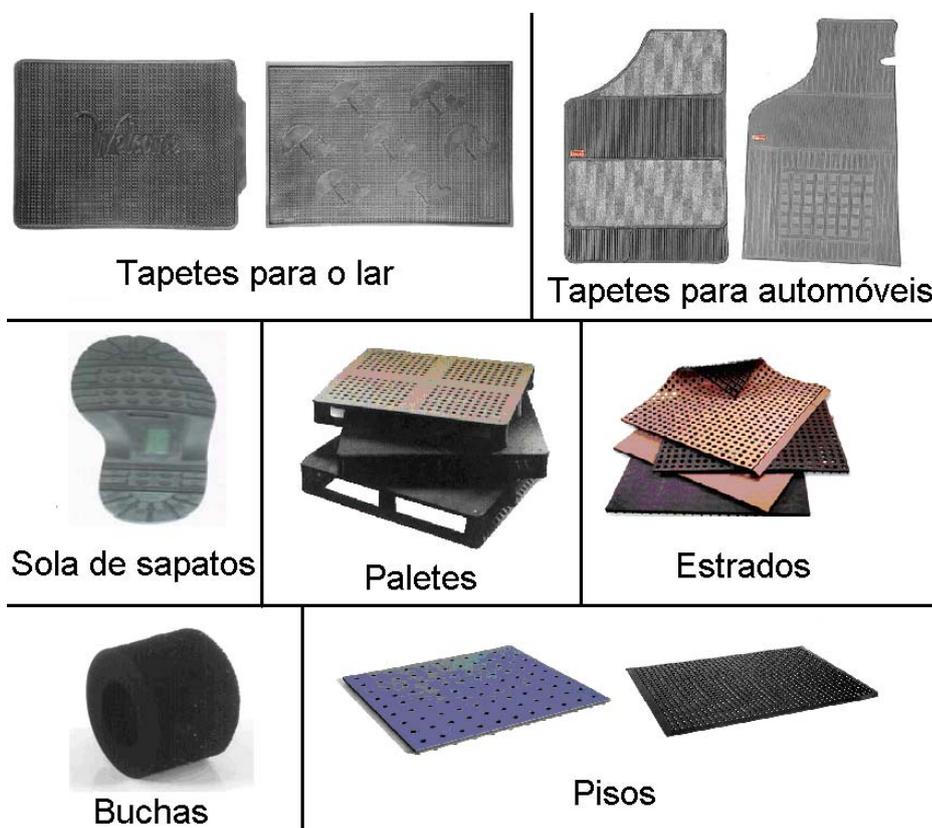


Figura 2.11: Artefatos Produzidos com Borracha de Pneus Inservíveis (ODA, 2003)

Dentro dessa perspectiva, a empresa Bocol, que atua nos mercados interno e externo, tem buscado desenvolver novas tecnologias e novos processos industriais que culminam com o desenvolvimento de novos produtos, entre os quais merecem destaque a confecção de sinalizadores rodoviários e a fabricação de pára-choques de carros.

Além disso, segundo Oda (2003), o pó de borracha é usado em equipamentos como correias transportadoras e sistemas anti-vibratórios, na indústria química como tintas industriais, telas de revestimentos, fitas adesivas e vedantes industriais e na construção como anéis de vedação de esgoto, quadras e ginásios esportivos, gramado sintético, pistas de atletismo, isolantes acústicos e impermeabilizações.

2.4.9 Co-incineração em Fábricas de Cimento

Devido ao seu elevado poder calórico, a co-incineração em cimenteiras foi um dos destinos encontrados para o pneumático inservível. Este alto poder calorífico estimula seu uso como combustível em processos de incineração nas indústrias de aço e de cimento, preservando recursos naturais como carvão e petróleo.

A indústria de cimento é a de maior consumo de energia. Fornos clínquer, matéria-prima do cimento, requerem altas temperaturas, em torno de 1.800°C, e a energia consumida está entre 800 e 1.200 unidades de calor por tonelada de clínquer, dependendo da tecnologia utilizada. Por exemplo, indústrias de cimento, com capacidades entre 500.000 e 1.000.000 de toneladas por ano, têm um consumo anual entre 60.000 a 80.000 toneladas de calor (FAETEC, 2005).

A queima de pneus para aquecer caldeiras é regulamentada por lei. No Brasil, de acordo com dados da ANIP (2007), cerca de 30% da reciclagem de pneus se dá por meio de queima em fornos industriais. No ano de 2002 foram incineradas 110 mil toneladas de pneus, e estima-se que as plantas de produção de cimento instaladas no país tenham capacidade de consumir até 14 milhões de unidade de pneumáticos inservíveis por ano.

Contudo, a queima de pneus em fornos de cimento deve seguir algumas normas, as quais são estabelecidas pelo órgão de controle ambiental responsável no estado em que as cimenteiras encontram-se instaladas. Este procedimento se aplica ao

licenciamento de atividades de reaproveitamento de resíduo sólido em fornos de produção de clínquer.

A Figura 2.12 apresenta as fábricas de cimento licenciadas no país para a co-incineração, sendo que, no Ceará, apenas a empresa Votorantin Poty, situada na cidade de Sobral, está incluída.

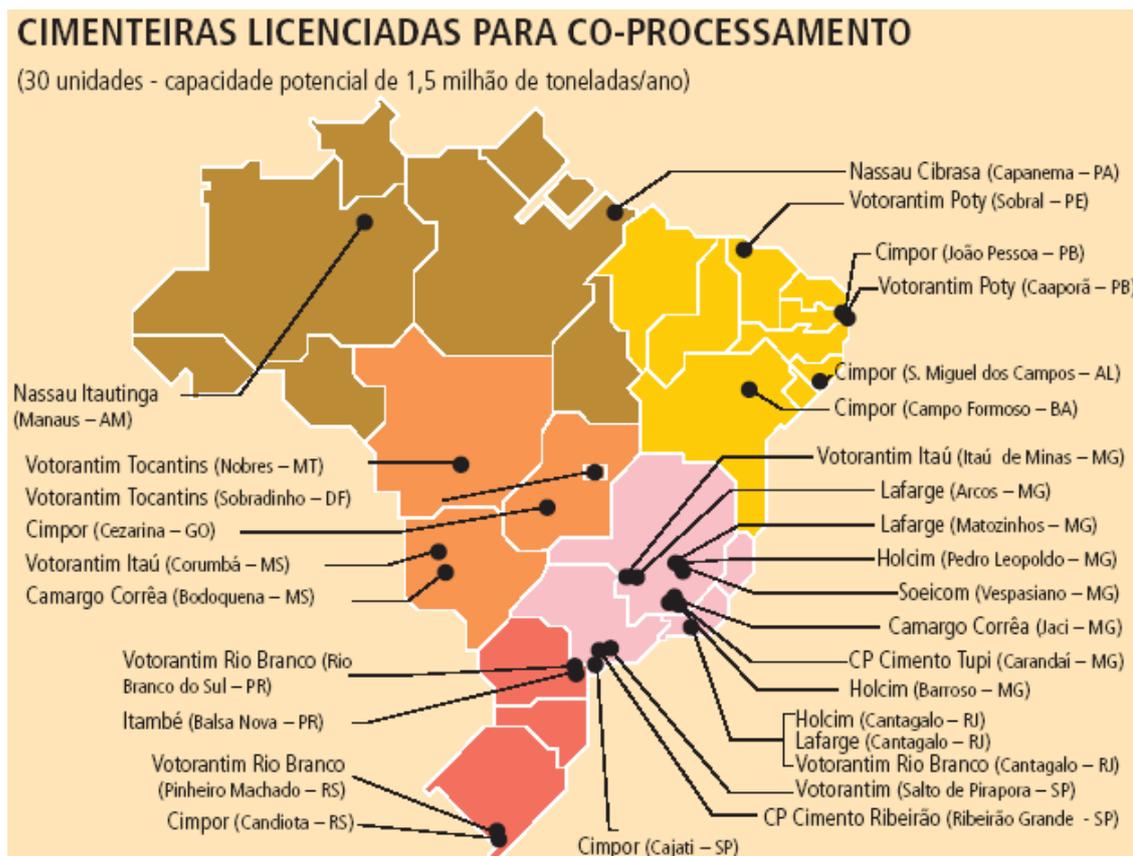


Figura 2.12: Fábricas de Cimento Licenciadas Para Co-processamento de Pneus (ABRELPE, 2006)

Segundo a FAETEC (2005), a indústria interessada em obter licença para utilização de pneus inservíveis como combustível alternativo deve enquadrar-se nos seguintes requisitos:

- A utilização de resíduos sólidos como combustível ou matéria-prima nos fornos de clínquer não deve gerar taxas de emissão maiores do que as devida à destruição do mesmo resíduo em incineradores de resíduos perigosos;
- O resíduo deverá ser gerado e/ou estar estocado em quantidade suficiente para justificar sua utilização em um teste de queima;

- Somente serão analisadas solicitações de licença de cimenteiras já instaladas, se devidamente reguladas e licenciadas;
- O resíduo utilizado deve ser para fins de reaproveitamento de energia ou como substituto de matéria-prima, devendo possuir características similares às dos componentes normalmente empregados na produção de clínquer.

Kihara (1999) conclui que o co-processamento é uma operação combinada, onde há queima e destruição de resíduos poluentes simultaneamente ao processo de fabricação de clínquer. Sendo que o sucesso deste processo só é alcançado quando se destróem os resíduos em um ambiente seguro, com redução dos custos da fabricação e garantia de qualidade de cimento.

Segundo Oda e Fernandes(2001), a geração de energia pela queima e a recauchutagem foram as primeiras formas de reutilização de pneus. Com o avanço tecnológico, surgiram novas aplicações, como a mistura com asfalto, considerada nos Estados Unidos como uma das melhores soluções para a disposição dos milhões de pneus descartados anualmente.

2.5 BORRACHA RECICLADA DE PNEUS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Em meio às opções de destinação final para os pneus inservíveis, deve-se uma grande ênfase à incorporação da borracha reciclada em ligantes asfálticos, devido à magnitude dos benefícios que proporciona. Assim sendo, este item 2.5 é todo dedicado à formação de conhecimento a respeito dessa técnica de reciclagem, que se encontra em ascensão no Brasil e no mundo.

O sucesso da pavimentação, como uma das áreas mais estudadas para o uso em larga escala do pneu velho, dá-se primeiramente por ter maior potencial de utilização deste resíduo, empregando grandes volumes de pneumáticos inservíveis. Conforme Edel (2002), para uma estrada comum, se utiliza o equivalente a cerca de 4.000 pneus por quilômetro. A Figura 2.13 apresenta uma comparação da quantidade de pneus aplicados na pavimentação asfáltica.



Figura 2.13: Representação da quantidade de Pneus Empregados na Pavimentação de Rodovias (EDEL, 2002)

Apesar de já existirem diversas formas de reutilização da borracha de pneus usados, é importante notar que, além da co-incineração para gerar energia, somente a pavimentação asfáltica tem potencialidade para empregar uma quantidade expressiva de pneus. No caso da utilização de pneus inservíveis em obras de pavimentação, além da significativa diminuição dos problemas ambientais, deve-se observar os benefícios obtidos pela incorporação da borracha nos ligantes, refletidos na qualidade das rodovias.

De acordo com Pinheiro (2004), a adição de borracha vem dar a qualidade desejada para um bom desempenho das misturas em rodovias de alto volume de tráfego. Para aumentar sua resistência ao envelhecimento ou, ainda, alcançar elevadas características reológicas, os ligantes, ou cimentos asfálticos de petróleo, denominados de CAP, podem ser modificados com a adição de borracha em pó de pneus inservíveis. Segundo Whiteoak (2003), entende-se por asfalto modificado qualquer asfalto que receba aditivos com a intenção de melhorar suas características, obtendo-se um material de melhor performance quando comparado ao asfalto não modificado.

Neste contexto, os modificadores de ligante são considerados como um dos agentes mais importantes no melhoramento de qualidade das misturas. Dentre as misturas, o destaque evidente pode ser dado ao asfalto-ecológico, proveniente da incorporação da borracha. De acordo com Morilha (2004), o asfalto-ecológico, ou ligante modificado por borracha moída de pneus, surgiu no sentido de baratear a modificação do ligante asfáltico.

Ainda segundo Morilha (2004), este asfalto apresenta maior viscosidade, maior elasticidade e menor susceptibilidade térmica que os asfaltos convencionais, oferecendo também melhor adesividade aos agregados e maior resistência aos raios ultravioleta e às intempéries. Tudo isto se traduz em pavimentos mais seguros e mais duráveis. Deste modo, a incorporação de borracha de pneus na mistura torna-se relevante também no âmbito de conservação das rodovias.

Esta elevação da performance dos pavimentos é refletida diretamente em valores monetários, principalmente, em se tratando do Brasil e em especial o Ceará, onde as rodovias representam uma enorme parcela dos investimentos em transportes. Segundo pesquisa realizada no ano de 2007 pela Confederação Nacional de Transportes – CNT (2007), 54,5% da malha rodoviária do país encontram-se com o pavimento em estado Regular, Ruim ou Péssimo, totalizando cerca de 47.777 quilômetros dos 87.592 pesquisados. Tal pesquisa analisou trechos importantes das malhas rodoviárias Federais e Estaduais, sendo 3.043km no Ceará, os quais revelaram uma situação ainda pior das estradas, como mostra a Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Avaliação Geral das Rodovias do Brasil e do Ceará no Ano de 2007 - Critério: Pavimento (CNT, 2007, adaptada)

	Brasil		Ceará	
Ótimo	34.132 km	39,0%	1.056 km	34,7%
Bom	5.683 km	6,5%	157 km	5,2%
Deficiente	31.384 km	35,8%	1.221 km	40,1%
Ruim	9.442 km	10,8%	392 km	12,9%
Péssimo	6.951 km	7,9%	217 km	7,1%
TOTAL PESQUISADO	87.592 km	100%	3.043 km	100%

É importante perceber que o estado precário de conservação dos pavimentos acarreta em um aumento dos custos operacionais, os quais são repassados aos preços dos produtos. Esta realidade diminui a competitividade e gera uma condição econômica indesejável.

O cenário exposto torna clara a necessidade de pesquisas e investimentos em asfalto-ecológico, uma vez que este é uma atividade comercial que amplia o horizonte de ruas e rodovias, aumentando a durabilidade do pavimento. Assim, Morais (2002) coloca que a aplicação do asfalto-ecológico é recomendada em:

- Rodovias com grande volume de tráfego;

- Estradas urbanas, principalmente em vias destinadas aos corredores de ônibus;
- Estradas de tráfego de caminhões pesados, visando à redução de deformações e ruídos;
- Estradas próximas a hospitais, visando minimizar o barulho e a vibração.
- Estradas montanhosas com raios de curva pequenos;
- Estradas em áreas com oscilação de temperatura;
- Aeroportos e pontes.

De acordo com Oda (2003), existem duas formas de incorporação da borracha no asfalto. O primeiro processo é chamado de seco, e consiste em utilizar a borracha como mais um agregado da mistura. O termo “processo seco” define o método que mistura a borracha com o agregado mineral antes da adição do cimento asfáltico. Neste caso, a borracha triturada recebe o nome de agregado-borracha.

Oda (2003) explica que o outro método é denominado de úmido, e consiste na adição do pó de borracha diretamente ao ligante em altas temperaturas, formando uma única mistura com propriedades diferentes do ligante inicial. O termo “processo úmido” define o método de mistura da borracha moída com o cimento asfáltico antes da adição do agregado mineral, dando origem ao chamado ligante asfalto-borracha, também conhecido como asfalto-ecológico.

2.5.1 Processo Seco de Obtenção do Asfalto Ecológico

No processo seco, as partículas secas de borracha granulada são adicionadas aos agregados minerais pré-aquecidos durante a usinagem. A borracha é introduzida como um agregado na massa asfáltica, o que, segundo Morilha e Greca (2003), prejudica a transferência de propriedades importantes da borracha ao ligante, embora seja possível agregar melhorias ao pavimento, desde que, na sua fabricação, obtenha-se uma mistura homogênea com granulometrias adequadas.

Bertollo *et al.* (2002) *apud* Pinheiro (2004) observaram que misturas modificadas com agregado-borracha com granulometria fina (1,18 – 0,15mm) possuíam um melhor desempenho quanto à deformação permanente e flexibilidade, quando comparadas a misturas convencionais. Já as misturas com agregado-borracha de granulometria mais grossa (9,5 – 0,60mm) mostraram um excesso de deformação permanente. O mesmo autor argumenta que estes resultados ratificam uma teoria de que as partículas finas de agregado-borracha reagem parcialmente com o ligante, enquanto as partículas maiores funcionam como agregados elásticos.

2.5.2 Processo Úmido de Obtenção do Asfalto Ecológico

No processo úmido, a borracha é previamente misturada ao ligante, modificando-o permanentemente. Morilha e Greca (2003) afirmam que, nesta modalidade, ocorre a transferência mais efetiva das características da borracha, como a elasticidade que pode contribuir para aumento da resistência à fadiga de misturas asfálticas. A borracha constituinte do pneu possui excelentes propriedades físicas e químicas que são incorporadas ao ligante convencional, tais como os agentes antioxidantes, que podem diminuir sensivelmente o envelhecimento do cimento asfáltico e aumentar da resistência à ação química de óleos e combustíveis.

A borracha obtida da trituração ou moagem dos pneus, quando misturada com o ligante asfáltico, acaba produzindo um material de melhor qualidade em termos de resistência, elasticidade e durabilidade. A adição de borracha em pó irá proporcionar um material com custo mais elevado quando comparado com o material “puro”, sem borracha. Contudo, apesar desse custo adicional (cerca de 20%), pode-se esperar um aumento da vida útil dos pavimentos construídos com o asfalto-borracha em aproximadamente 30%, além da redução da espessura da camada (ODA, 2003).

Nas técnicas de processamento úmido mais comuns, o ligante asfáltico é aquecido a temperaturas em torno de 180°C e transportado para um tanque de mistura apropriado, onde a borracha granulada é depositada. Normalmente, o processo de interação entre o ligante asfáltico convencional e a borracha granulada demora de uma a quatro horas, dependendo da tecnologia. A mistura é promovida por aparelhos mecânicos, como palhetas giratórias horizontais inseridas no tanque (MORILHA e

GRECA, 2003). A Figura 2.14 demonstra as etapas do processo úmido de adição de borracha ao ligante.

Vale lembrar que diversos fatores influenciam as características finais do ligante asfalto-borracha. Para Pinheiro (2004), a variação do tipo de componentes e as condições de modificação são os principais responsáveis pela qualidade final do ligante. Assim, como a borracha e o tipo de asfalto podem variar bastante, a mistura dos dois pode levar a ligantes asfalto-borracha com características físicas e químicas muito diferentes.

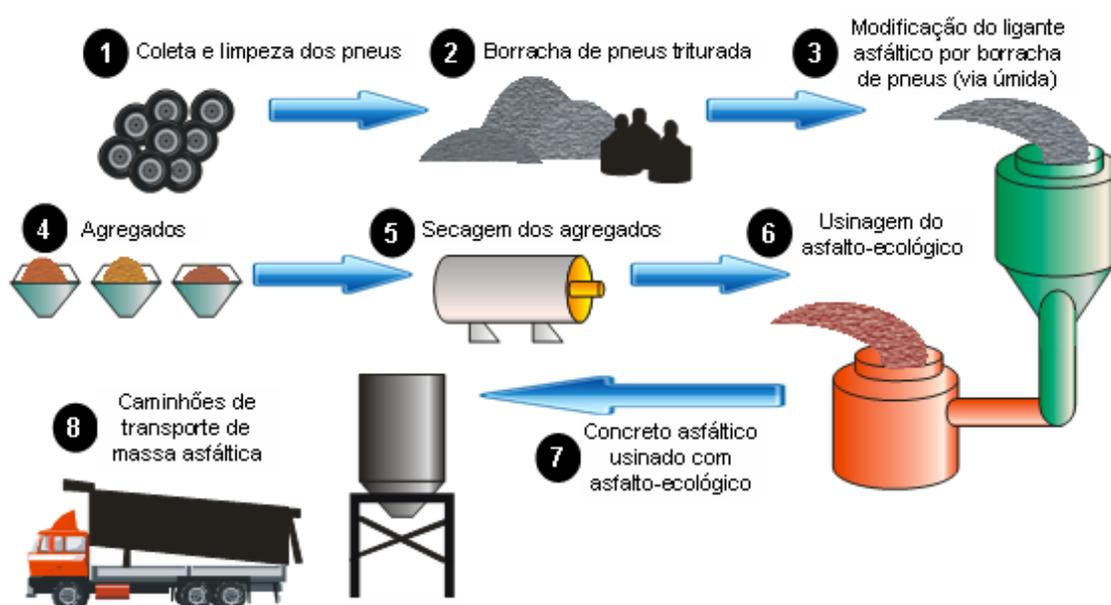


Figura 2.14: Processo Úmido de Fabricação do Asfalto Ecológico

Uma vez que as tecnologias empregadas estejam adequadas, não há dúvidas de que a reciclagem do pneumático e o seu emprego em revestimentos asfálticos representam ganho para toda a sociedade, significando um produto mais duradouro, de características técnicas melhores e ecologicamente correto. Sob esta ótica, Junior e Greca (2003) citam os seguintes benefícios proporcionados pela modificação do asfalto tradicional com a adição da borracha moída de pneus:

- Surgimento e fortalecimento de empresas especializadas na reciclagem de pneus para convertê-los em asfalto borracha;
- Benefícios diretos ao setor público pela criação de novas fontes de tributos a ingressar no cofre público, além de criar novos empregos diretos, nas

empresas recicladoras, e indiretos, ligados ao processo de angariação e movimentação de pneus inservíveis;

- Inibição maior aos focos de criação de insetos prejudiciais à saúde e até letais ao ser humano;
- Redução da poluição visual causada pelo descarte de pneus em locais impróprios;
- Diminuição do assoreamento de rios, lagos e baías, causados, em parte, pelo indevido descarte de pneus;
- Diminuição do número de pneus usados em depósitos, com a conseqüente redução do risco de incêndios incontroláveis e a não deposição de pneus em aterros sanitários.
- Redução da demanda de petróleo (asfalto) por dois motivos: substituição de parte do asfalto por borracha moída de pneus; maior durabilidade que será alcançada na vida útil das estradas. Vale lembrar que o petróleo é uma fonte não renovável de energia.

As conseqüências ecológicas, econômicas e sociais acima, aliadas ao benefício técnico do novo ligante asfáltico criado com a borracha reciclada, são muito interessantes e compõe um panorama muito benéfico para a sociedade.

2.6 RECICLAGEM DA BORRACHA DE PNEUS

A incorporação da borracha em ligantes asfálticos é precedida pela reciclagem dos pneus inservíveis, a qual se dá através de unidades recicladoras que transformam os pneumáticos em pó, mostrado na Figura 2.15. Oda (2003) afirma que apesar das diferentes composições dos pneus, o pó de borracha produzido para modificar os materiais asfálticos apresenta características uniformes. A diferença está na forma de triturar ou moer o pneu, ou seja, o tamanho das partículas pode variar com o seu processo de produção.



Figura 2.15: Pó de Borracha Reciclada (ODA, 2003)

Tendo o asfalto-ecológico como prioridade, as pesquisas sobre reciclagem foram focadas para os aspectos relativos à obtenção do pó de borracha utilizado na modificação de cimentos asfálticos. Desta forma, identificou-se a existência de dois processos de obtenção deste produto. O primeiro se dá através de trituração à temperatura ambiente, chamado processo mecânico. No segundo, a trituração é realizada a baixas temperaturas, sendo denominado de processo criogênico.

2.6.1 Processos de Obtenção do Pó de Borracha Reciclada

O processo criogênico consiste na imersão da borracha de pneus em nitrogênio líquido à temperaturas que variam de -90°C a -200°C , pois, abaixo de -60°C , a borracha é muito frágil e pode ser facilmente triturada em um moinho de impacto (RUTH *et al.*, 1997 *apud* ODA, 2003).

Albuquerque (2004) explica que o processo criogênico fornece um pó de borracha vulcanizada com dimensões bastante reduzidas, na ordem de 0,60 a 0,154 mm de tamanho. Sendo que, nesse processo, a raspa de recauchutagem e a borracha moída da superfície externa dos pneus são introduzidas em um transportador helicoidal, onde recebem um jato de nitrogênio à temperaturas em torno de -150°C . Em tais condições, a borracha se torna rígida e quebradiça, sendo convertida em pó fino por meio da moagem realizada em moinhos de martelo. O autor comenta que, para este processo, são necessários cerca de 1,5 kg de nitrogênio para cada quilo de borracha, tornando a opção economicamente inviável.

Neste contexto, a recuperação da borracha de pneu, por processo seco, torna-se mais satisfatória, portanto mais utilizada pelas empresas brasileiras. Esta técnica

consiste na trituração em moinhos de cilindros dentados até a obtenção de um pó fino. Ruth *et al.* (1997) *apud* Oda (2003) complementam mencionando que a trituração à temperatura ambiente consiste em uma série de trituradores, peneiras, correias transportadoras e tambores magnéticos para remoção do aço, sendo dividida em métodos que produzem tamanho de partículas diferentes, variando de 0,075mm até 9,5mm. A Figura 2.16 traça as etapas deste processo.

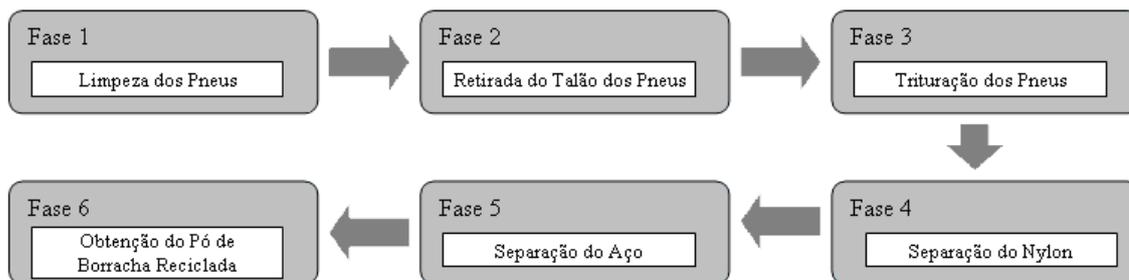


Figura 2.16: Processo de Reciclagem da Borracha de Pneus

2.6.2 Infra-estrutura da Unidade Recicladora

No Brasil, diversas empresas já realizam a reciclagem de pneus inservíveis, produzindo o pó de borracha próprio para ser aplicado em ligantes asfálticos. Para tal atividade, existe a necessidade de uma infra-estrutura adequada. Segundo a Unidade de Capacitação Empresarial - UCE (2006), a estrutura básica de uma unidade recicladora deve contar com uma área que abrigará um galpão, sendo este dividido em quatro sub-áreas: galpão industrial, escritório, vestiários e sanitários. Além disso, alguns equipamentos específicos são requeridos para este tipo de atividade, tais como trituradores, autoclaves, peneiras, mobiliários, computadores, fax, telefone e outros. A mão-de-obra básica deve contar com gerente, secretária, auxiliar administrativo, responsável de produção, operários e motorista.

As etapas de separação da borracha, aço e nylon, podem ser visualizadas na Figura 2.17, a qual esquematiza uma Usina Trituradora Ecológica de Pneus especializada em reciclagem e destinação final de pneus.

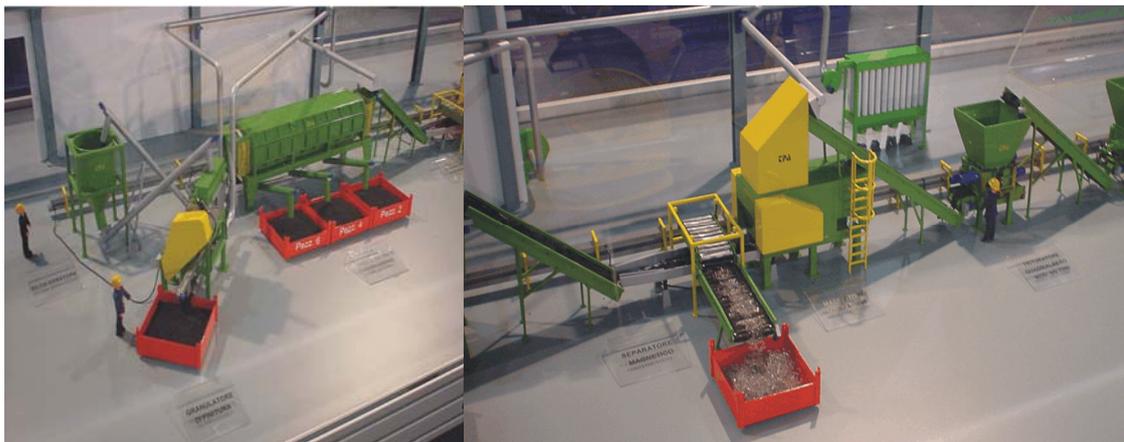


Figura 2.17: Usina Trituradora Ecológica de Pneus (ODA, 2003)

A escolha do local para instalar uma unidade recicladora também é uma decisão muito importante para o sucesso do empreendimento. Vale lembrar que as atividades econômicas da maioria das cidades são regulamentadas em conformidade com um Plano Diretor Urbano – PDU, sendo essa Lei que determina o tipo de atividade que pode funcionar em um determinado local. A localização deve oferecer a infra-estrutura adequada à instalação da usina e propiciar futuras expansões.

2.7 LOGÍSTICA REVERSA APLICADA AOS PNEUS

Ainda que a maioria das empresas entenda logística como sendo a gerência do fluxo de produtos dos pontos de aquisição até os consumidores finais, para muitas outras existe um canal logístico oposto, que também precisa ser administrado. No entendimento logístico, a vida útil de um produto não acaba no momento em que este é conferido ao cliente. Os bens sofrem desgastes com o tempo, deterioram-se, estragam-se ou tornam-se obsoletos e, conforme as atuais leis ambientais, devem voltar a seus pontos de origem, onde serão consertados, reciclados ou, em último caso, descartados. Esse processo de retorno do produto é denominado de logística reversa e será abordado enfocando as peculiaridades dos pneus inservíveis.

Souza e Novaes (2004) conceituam logística reversa como sendo o processo de armazenar e movimentar produtos, a partir de seu destino final típico, com o propósito de capturar algum valor residual ou de descartá-los definitivamente. Assim sendo, a logística reversa de pneus pode ser considerada como um meio para capturar valor através da reciclagem da borracha.

2.7.1 Armazenagem e movimentação de pneus inservíveis

Um dos principais problemas com os quais se lida na reciclagem de pneus é a sua coleta, devido a sua dispersão e dimensões físicas. Seu volume e peso tornam o transporte e o armazenamento difíceis e onerosos. Deste modo, a logística reversa se torna uma atividade relevante dentro do processo de reaproveitamento da borracha.

As dificuldades na logística reversa de pneus ficam evidentes quando se faz um paralelo com a reciclagem de latas de alumínio. Segundo o Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE (2005), em 2004, foram recicladas 121,3 mil toneladas, o equivalente a 9 bilhões de latas, atingindo o índice de 95,7% do total produzido. Enquanto que os dados referentes à reciclagem de pneus em 2004 indicam um total de 63 mil toneladas, o que corresponde a aproximadamente 9 milhões de pneus médios, ou seja, de automóveis. Este valor não chega a 18% do total de 52 milhões produzidos no mesmo ano. A Figura 2.18 compara o espaço ocupado por uma mesma quantidade de pneus e de latas.

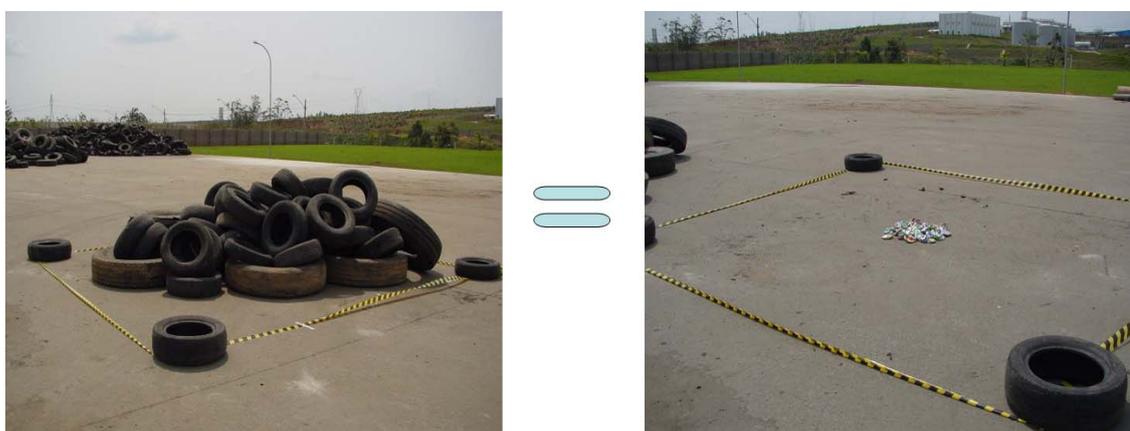


Figura 2.18: Comparativo Espacial entre Pneus e Latas de Alumínio

A logística reversa aplicada aos pneumáticos passou a ter mais visibilidade quando da entrada em vigor da Resolução CONAMA nº 258/99, que estimulou o recolhimento e a destinação correta de pneus como responsabilidade legal dos fabricantes e importadores de pneumáticos. Assim, face à obrigação imposta por normas ambientais cada vez mais exigentes e aos altos custos com a logística reversa de pneus, as empresas têm se preocupado em planejar e gerenciar melhor o fluxo reverso desses pneus para cumprir a lei e, sobretudo, minimizar seus gastos.

A reciclagem de pneus inservíveis ainda é um processo caro, considerando o custo do maquinário e, principalmente, a logística do transporte. Havendo a necessidade de fortalecimento das duas pontas do processo, no que se refere à entrega dos inservíveis pelos consumidores aos revendedores, bem como ao desenvolvimento e ampliação de alternativas tecnológicas economicamente viáveis que contemplem a reciclagem de pneumáticos inservíveis (VIVEIROS, 2003).

Neste contexto, existe uma busca cada vez mais acentuada por alternativas de gerenciamento de pneumáticos inservíveis, no que tange às ações de planejamento operacionais visando à coleta, ao transporte, ao armazenamento temporário, ao tratamento e à disposição final desses inservíveis. De maneira geral, Cimino (2004) sugere as seguintes ações para assegurar uma logística reversa eficiente dos pneus velhos:

- Criar centrais de armazenamento temporário dos pneus inservíveis, sob responsabilidade de fabricantes e importadores, até o destino final ambientalmente adequado;
- Organizar o transporte dos pneumáticos, limitando-os em distância e volume;
- Firmar parcerias entre empresas produtoras de pneus, prefeituras municipais e instituições de interesse em reciclagem no território nacional, criando mais uma alternativa para viabilizar a coleta de pneus.

Uma estratégia que vem sendo bastante usada para dinamizar esse processo reverso é a implantação de pontos de coleta adicional, intitulados de “ecopontos”. O Centro Nacional de Tecnologias Limpas - CNTL (2007) define ecopontos como galpões de recepção dos pneus inservíveis que servem para armazená-los até sua destinação final adequada.

Hoje, existe um total de 226 ecopontos no Brasil, sendo apenas 7 no Nordeste e nenhum no estado de Ceará, como pode ser visto na Tabela 2.5. Desde 1999, a ANIP desenvolve o Programa de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis, considerado hoje o maior programa de responsabilidade pós-consumo da indústria brasileira. Para o sucesso do Programa, a Associação promove parcerias com prefeituras de todas as regiões do

Brasil. Atualmente, 220 municípios já aderiram ao programa e implantaram centros de recepção de pneus inservíveis, os chamados ecopontos. No processo de coleta, a ANIP é responsável por toda a logística, realizando o transporte dos pneus desde os ecopontos até as empresas de trituração, de onde serão encaminhados para destinação final (ANIP, 2007).

Tabela 2.5: Ecopontos na Região Nordeste (ANIP, 2007)

Cidade	Estado
Barreiras	BA
Camaçari	BA
Feira de Santana	BA
Guanambi	BA
Luis Eduardo Magalhães	BA
Natal	RN
São Luís	MA

Segundo Cimino (2004), a instalação desses depósitos deve ficar a cargo de prefeituras ou de associações de interesse em reciclagem. Sendo que este espaço deve ser coberto e seco, ou protegido com lona ou plástico, devendo ser mantido licenciado pela vigilância sanitária estadual ou municipal até que ocorra sua destinação final adequada. A capacidade de armazenamento do depósito e o tempo previsto para estocagem precisam ser indicados e mantidos em cadastro.

O transporte dos pneumáticos inservíveis é realizado preferencialmente pelo modal rodoviário, visto a reduzida malha ferroviária e hidroviária do país. Desta forma, caminhões de diferentes capacidades podem ser usados, dependendo da quantidade a ser transportada e da distância a ser percorrida. A Tabela 2.6 apresenta três tipos de caminhões usados nesse transporte.

Tabela 2.6: Caminhões Utilizados para o Transporte de Pneus Inservíveis

Veículo	Capacidade (toneladas)	Capacidade (nº de pneus)
Caminhão Leve	4 a 6 ton	500 pneus
Caminhão Médio	10 a 14 ton	1600 pneus
Caminhão Semi Pesado	14 a 18 ton	2500 pneus

Embora o transporte rodoviário responda pela maior parte da movimentação desses pneus, o trem também vem sendo utilizado em regiões onde existe uma boa malha ferroviária. Em Pernambuco, o ponto de arrecadação de pneus está em

funcionamento desde 2005 em uma base do Programa Rodando Limpo, localizada no galpão da Companhia Ferroviária do Nordeste - CFN.

A Companhia Ferroviária do Nordeste está inserida no programa Pernambuco Rodando Limpo, que visa reutilizar pneus inutilizados no processo de fabricação de cimento sem maiores danos à atmosfera. Isto significa também uma economia de combustíveis derivados do petróleo utilizados pela indústria cimenteira. A participação da CFN se dá na armazenagem e no transportes dos pneus (CFN, 2005).

2.7.2 Vantagem Competitiva

Diante das crescentes pressões ambientalistas e legais, as empresas estão procurando novas formas de se estruturar no mercado, direcionando suas atenções para o ciclo de vida total de seus produtos e se preocupando mais com a disposição final dos mesmos. Leite (2003) explica que tal processo, embora gradual, deve fazer com que haja uma preocupação cada vez maior com a redução dos resíduos na origem, aproveitando mais materiais reciclados e reutilizando outros. A intenção é maximizar o grau de rotação dos produtos, partindo da implementação de sistemas de recuperação e reciclagem contínua de materiais.

São citados ainda outros fatores que devem influenciar o crescimento da implantação dessa visão nas empresas, tais como:

- A conscientização da população;
- O aumento da quantidade de resíduos sólidos;
- O encarecimento da matéria-prima original.

A partir dessa preocupação com o ciclo de vida útil dos produtos, as empresas passam a ter a visão da logística reversa como vantagem competitiva. Frente às pressões da sociedade nesse aspecto, ações voltadas para preservação do meio ambiente por parte das empresas estão virando motivo de marketing, gerando valor sobre os concorrentes. Por outro lado, existem razões econômicas para a reciclagem e reaproveitamento dos pneus. Um exemplo disso é a incorporação da borracha reciclada no ligante asfáltico, o qual aumenta a vida útil das rodovias.

Lacerda (2003) comenta que muitas empresas já buscam a logística reversa como um diferencial para criar vantagens competitivas e, para tanto, vêm atuando cada vez mais nas atividades de reciclagem e reaproveitamento de produtos. O autor aponta alguns motivos que levam as empresas a enfatizar a logística reversa:

- As questões ambientais, com uma nova legislação ambiental que responsabiliza a empresa por todo o ciclo de vida de seus produtos, principalmente no que diz respeito ao destino dos produtos após a entrega aos clientes e ao impacto que estes produzem no meio ambiente. Além disso, existe o aumento da consciência ecológica dos consumidores, que estão procurando produtos de empresas que estejam preocupadas em reduzir os impactos negativos de sua atividade ao meio ambiente e com uma visão ecologicamente correta;
- A concorrência cada vez mais acirrada, fazendo com que as empresas busquem formas de diferenciação por serviço. Uma boa política de logística reversa mostra aos clientes o quão mais liberal a empresa pode ser quando se trata de questões de retorno de produtos, já que existem possibilidades de obtenção de produtos danificados e as leis de defesa dos consumidores garantem o direito de devolução ou troca de produtos com problemas;
- A redução de custos pela adoção da logística reversa, podendo trazer consideráveis retornos para as empresas. Economias com a utilização de embalagens retornáveis ou com o reaproveitamento de materiais para produção têm trazido ganhos que estimulam cada vez mais novas iniciativas. Além disso, os esforços em desenvolvimento e melhorias nos processos de logística reversa podem produzir também retornos consideráveis, os quais justificam os investimentos realizados.

Diante do atual momento de estratégias e mudanças, percebe-se que a motivação para investimentos na logística reversa de produtos, sobretudo de pneus, pode ter razões tanto ecológicas, como econômicas.

CAPÍTULO 3

PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO

Frente ao crescimento da competição mundial e aos avanços tecnológicos, a logística passou a desempenhar um papel essencial no gerenciamento empresarial. Neste cenário extremamente competitivo, a disponibilidade de matéria prima, bem como a rapidez e a eficácia na sua entrega, tornam-se componentes fundamentais para o sucesso da organização, forçando as empresas a buscarem meios de melhorar a operação e reduzir os custos dos processos logísticos, em especial de transportes.

A eficiência dessa logística está diretamente relacionada com a localização do empreendimento e à distância deste em relação aos diversos pontos de oferta da matéria-prima. Portanto, a decisão do local onde instalar a fábrica e os armazéns é uma etapa importante para o sucesso da operação logística, sendo ela tradicional ou reversa, como no caso dos pneus inservíveis. Neste contexto, os modelos de localização surgem como ferramentas de Pesquisa Operacional que possibilitam uma melhor compreensão do sistema, através da identificação das variáveis mais relevantes e da maneira como eles interagem, podendo ser usados para gerar posições de facilidades otimizadas.

Na concepção de Hale e Moberg (2003), a finalidade de problemas de localização é determinar onde se deve instalar um conjunto de facilidades a fim atingir determinados objetivos, tais como minimizar custos do transporte, maximizar a área de cobertura e minimizar o tempo de entrega ou coleta do produto, através da posterior otimização das rotas. Nota-se que, no âmbito do transporte, os objetivos dos modelos tendem a ser a minimização dos custos, reduzindo o máximo possível as distâncias percorridas por veículos e necessárias para cobrir todos os pontos de passagem.

Problemas de localização versam sobre decisões a respeito de onde localizar facilidades em uma rede, considerando que existem clientes a serem atendidos, de forma a otimizar um determinado critério (DREZNER e EISELT, 2002). A palavra “facilidades” pode se referir a fábricas, armazéns, hospitais, usinas de reciclagem e

outros. Enquanto que o termo “clientes” pode ser entendido como depósitos, lojas de varejo, pacientes, cidades, etc.

Esses problemas possuem diversas configurações que são utilizadas conforme a características do sistema estudado. Segundo Hale e Moberg (2003), os modelos podem diferir em sua função objetivo, na distância métrica aplicada, no número e tamanho das facilidades e em diversos outros parâmetros de decisão.

Galvão (2004) complementa que a forma do problema de localização depende também do horizonte de tempo considerado (estático ou dinâmico), da existência de relações hierárquicas entre as instalações e da inclusão, ou não, de elementos estocásticos na formulação do modelo (probabilístico, determinístico). Assim, quando se consideram as possíveis combinações das categorias acima, podem ser definidos numerosos tipos diferentes de problema.

A abrangência e o potencial desses modelos permitem a sua aplicação em várias áreas do setor público e privado. Current *et al* (2002) citam alguns sistemas em que os modelos de localização podem ser úteis, como aeroportos, terminais de ônibus, restaurantes, estações do corpo de bombeiros, hospitais, unidades de reciclagem de lixo, armazéns e centros de distribuição. No setor privado, tais decisões têm uma influência maior na capacidade de uma empresa de competir no seu mercado. No setor público, elas influenciam na eficiência pela qual instituições governamentais provêm serviços públicos e na habilidade destas instituições de atrair outras atividades econômicas.

Embora sua aplicabilidade seja vasta, os modelos são também específicos do sistema a ser empregado, isto é, seu formulário estrutural (objetivos, restrições e variáveis) é determinado pelo problema de localização particular sob análise. Conseqüentemente, não existe um modelo geral que seja apropriado para todas as possíveis aplicações existentes (CURRENT *et al.*, 2002).

Tais modelos incluem a otimização de uma determinada função objetivo. Entretanto, os métodos de otimização e os critérios empregados são bem variados, modificando conforme o papel da instalação, as variáveis incluídas no estudo, o tratamento matemático utilizado e a representação espacial do problema. Existem, na

literatura corrente, trabalhos a respeito de problemas locacionais em diversos graus de complexidade.

Nesta seção, são apresentadas as classificações e as definições dos problemas mais importantes de localização, assim como os principais métodos de solução disponíveis na literatura. Ainda, é realizada uma breve abordagem sobre problemas de roteamento, devido a sua importância para trabalhos futuros complementares aos estudos de localização.

3.1 CLASSIFICAÇÕES DOS PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO

3.1.1 Classificação Quanto ao Número de Facilidades

No caso mais simples, somente uma facilidade deve ser situada, porém, freqüentemente existe mais de uma facilidade a ser alocada. Segundo Gualda (1975), pode-se dizer que, de um modo geral, os modelos matemáticos para localização de instalações são classificados em duas categorias quanto ao número de facilidades:

- Modelos para localização de uma única instalação: Esse problema ocorre quando se pretende que haja apenas uma instalação, ou quando uma possível instalação estará tão isolada das demais que a demanda a ser atendida por ela pode ser considerada independente da demanda a ser atendida pelas demais instalações, permitindo a decomposição do problema de localização. Assim, o problema de n instalações se separa em n problemas, independentes, de localização de uma única instalação. Desta forma, essa hipótese certamente simplifica bastante o problema a ser resolvido, que passa a se basear na busca do local que permite otimizar uma função objetivo, seja ela voltada para a maximização dos lucros da empresa, para a minimização dos custos envolvidos ou para objetivos específicos, como a minimização das distâncias ou dos tempos de transporte associados ao atendimento das demandas consideradas.
- Modelos para localização de múltiplas instalações: A modelagem do problema de localização de mais de uma instalação é, certamente, mais

complexa. Envolve, entre outras, considerações sobre a parcela da demanda a ser atendida por cada uma das instalações. Isso significa que se deve buscar respostas para questões relacionadas a quantas instalações implantar, a onde implantá-las, ao porte de cada uma delas, à área de influência das mesmas e aos modos de transporte a serem utilizados para suprimento das mesmas. A função objetivo, nesse caso, está associada, em geral, à minimização da somatória dos custos associados a cada uma das instalações, sujeita a restrições quanto ao porte mínimo ou máximo de cada instalação, distância entre elas, distâncias máximas de cada instalação até os pontos de demanda, além de limitações de capacidade de vias e dos veículos de transporte. A eventual existência de economias de escala aumenta a dificuldade na modelagem para esse tipo de problema.

Alguns autores distinguem também o número de facilidades existentes por fixo ou variável. Drezner e Eiselt (2002) explicam que este último é usado especificamente quando o tomador de decisão deseja localizar as facilidades em um espaço vazio, sem nenhuma facilidade similar, ou está competindo (modelos de competição).

Os modelos da competição envolvem o caso em que a concorrente possui potencialidade para reajustar as decisões de localização. Se a organização encontrar uma área mal servida pelo seu concorrente, ela pode, sobre um período de tempo, realocar uma filial ou implantar uma nova unidade para alcançar parte desse mercado não atendido. Deste modo, Ahn *et al.* (2004) comentam que, ao tomar uma decisão de localização, faz-se necessário analisar que resposta o concorrente pode ter, visando atender uma parcela não atendida. Assim sendo, na prática, muitos problemas de localização ocorrem em três cenários diferentes:

1. Não existe limitação quanto à localização e não há nenhuma facilidade existente (problema geral);
2. Encontrar facilidades novas além das já existentes (problema adicional ou incremental da localização de facilidade);
3. Encontrar facilidades adicionais e, possivelmente, fechar algumas facilidades existentes (problema de reorganização).

3.1.2 Classificação Quanto à Função Objetivo

A diferença entre os problemas dos setores público e privado pode ser uma maneira comum de observar a classificação da função objetivo. A maximização de lucro e a conquista de fatias de mercado maiores são os critérios principais em aplicações privadas, enquanto que a minimização de custos sociais e a eficiência dos serviços são os objetivos no setor público (MARIANOV e SERRA, 2002).

As funções objetivo comumente usadas são de minimização, ou de soma de todas as distâncias, ou de máxima distância à facilidade. Entretanto, deve-se também considerar as funções de maximização de soma dos pontos a serem cobertos. Na literatura, existem principalmente três tipos de funções objetivo sendo usadas (NIQUELAR e PUERTO, 1999):

- Objetivo mediano (minsum);
- Objetivo central (minmax);
- Objetivo mediano-central (uma combinação convexa do minsum e do minmax, chamada também de problema de localização do k-centrum).

Existem ainda os modelos multi-objetivos. De acordo com Current *et al.* (2002), a consideração simultânea de mais de uma função objetivo aproxima mais o modelo da realidade, fornecendo ao responsável pelas decisões um conjunto eficiente de soluções.

3.1.3 Classificação Quanto ao Espaço de Busca

Os problemas de localização são resolvidos geralmente em um dos três espaços básicos: espaços contínuos, discretos e da rede. Cruz *et al.* (2003) explicam que, no primeiro, as facilidades podem ser alocadas em qualquer lugar da região praticável. O segundo enxerga o problema no qual as posições das facilidades devem ser escolhidas de um conjunto de locais predefinidos. Enquanto que, no terceiro, os locais potenciais da facilidade estão situados ao longo de alguma rede subjacente. Além disso, o espaço disponível às facilidades pode ser restringido pela introdução de zonas proibidas que são introduzidas ao problema através da modelagem de restrições importantes.

Os modelos contínuos são usados freqüentemente como primeiras aproximações aos problemas reais do mundo, sendo uma maneira de encontrar as regiões mais promissoras a serem estudadas. Segundo Dasci e Verter (2001), os modelos contínuos são utilizados com êxito em logística, todavia, provavelmente existem poucos trabalhos que usam modelos contínuos para designação de facilidade. Modelos desse tipo assumem que os pontos de demanda encontram-se distribuídos sobre uma certa área de mercado, além de determinarem a região ótima de serviço para cada facilidade que venha a ser estabelecida. Os locais ótimos de facilidades são identificados posteriormente.

Em contraste aos modelos contínuos, nos modelos discretos assume-se que a demanda e as instalações estão localizadas nos nós de uma rede, em um conjunto finito de localizações. Dasci e Verter (2001) argumentam que os pontos de demanda podem ser posicionados nos nós ou em qualquer lugar ao longo das ligações entre eles, sendo que, neste caso, as demandas também devem ser tratadas como se estivessem em nós, que são chamados de artificiais por conectarem apenas duas ligações. Já as facilidades, geralmente são alocadas somente em nós.

3.1.4 Modelos Estáticos e Dinâmicos

Pode-se também distinguir os problemas de localização entre modelos estáticos e dinâmicos. De acordo com Silva (2002) *apud* Rocha e Lopes (2005), são modelos estáticos aqueles que visam representar o estado de um sistema em um dado instante, não sendo necessário o emprego da variável tempo. Enquanto que os modelos dinâmicos são formulados para representar as alterações de estado do sistema em função do avanço da variável tempo.

Na visão de Drezner e Eiselt (2002), os modelos estáticos tentam otimizar o desempenho do sistema para o período representado, ou seja, todas as facilidades são abertas uma vez e permanecem abertas pelo horizonte do planejamento. Já os modelos dinâmicos, reconhecem que os parâmetros do problema, como a demanda, por exemplo, podem variar com o passar do tempo, assim, tentam explicar estas mudanças sobre um período de tempo. Portanto, explicitamente os modelos dinâmicos são aqueles designados para os problemas onde as facilidades serão abertas e, possivelmente,

fechadas com o passar do tempo, de acordo com mudanças nos parâmetros do problema.

3.1.5 Modelos Determinísticos e Estocásticos

Os modelos determinísticos são aqueles que, em suas formulações, não fazem uso de variáveis aleatórias, enquanto os estocásticos podem empregar uma ou mais. Contudo, na prática, há uma incerteza considerável na maioria dos problemas de localização de facilidade. Variáveis como tempo de curso, custos de implantação e demandas podem mudar, sendo estas mudanças frequentemente aleatórias. Consequentemente, tem-se modelos determinísticos se os valores de entrada forem conhecidos com certeza, ou modelos probabilísticos caso a entrada seja sujeita à incerteza.

Segundo Galvão (2004), problemas de localização probabilísticos versam sobre a natureza estocástica de sistemas do mundo real. Nestes sistemas, alguns parâmetros como, por exemplo, tempos de viagem, local dos clientes, demanda e disponibilidade de servidores, são tratados como variáveis aleatórias. O objetivo é determinar os locais de facilidades robustas, que se aperfeiçoam conforme uma determinada função de utilidade, para uma gama de valores dos parâmetros considerados. Para Owen e Daskin (1998), a literatura estocástica é dividida em duas classes, uma que explicitamente considera a distribuição de probabilidade de parâmetros incertos e outra que captura a incerteza com o planejamento de cenários.

Notadamente, as formulações estocásticas tentam capturar a incerteza em parâmetros de entrada do problema. Assim sendo, a consideração do tempo e da incerteza, em problemas de localização, ajudou a resolver determinados problemas de forma mais realística. Galvão (2004) menciona que em sistemas não congestionados, com pequena demanda, os modelos determinísticos se aplicam bem, contudo, devido a assumirem que os servidores estão sempre disponíveis, esses modelos possuem limitação em representar sistemas congestionados.

3.1.6 Modelos de Alocação e Roteamento

Existem ainda modelos de Localização-Alocação, nos quais os pontos de demanda absorvem as demandas totais, sendo alocados de forma otimizada às facilidades. De forma genérica, estes problemas podem ser definidos, segundo Lozano *et al.* (1998), como: “Dado a localização do conjunto de clientes e suas demandas associadas, encontrar o número e a localização de facilidades, além da alocação da demanda correspondente às mesmas, visando satisfazer aos critérios, já determinados, de forma otimizada”.

Outro tipo de problema de localização é o de Localização-Roteamento, onde a eficácia total da posição da facilidade depende não somente das distâncias individuais para cada cliente, mas também da eficiência das rotas dos veículos, necessárias para servir os vários pontos de demanda. Segundo Current *et al.* (2002), nestes problemas, objetiva-se simultaneamente minimizar a soma de todas as distâncias e a distância máxima, de tal modo que os problemas de Localização-Roteamento envolvem três decisões fundamentais: onde localizar as facilidades, como alocar clientes às facilidades e como definir as rotas dos veículos para atender os clientes.

3.2 PRINCIPAIS PROBLEMAS E MÉTODOS DE SOLUÇÃO

3.2.1 Problema de Localização com Coberturas

Na visão de Galvão *et al.* (2000), o problema de localização, na sua configuração mais geral, consiste na definição de locais para instalar um determinado número de facilidades (servidores) que atendam a um conjunto de clientes (pontos de demanda) espalhados em um espaço geográfico. O problema deve, ainda, definir a alocação dos clientes entre as facilidades. Um exemplo conhecido na literatura é o problema de cobertura, tal como localizar ambulâncias para o atendimento emergencial de pessoas acidentadas.

Problemas de cobertura envolvem a localização de instalações para cobrir todos, ou a maioria dos pontos de demanda, dentro de uma distância admissível ao serviço, frequentemente denominada como máxima distância do serviço. É dito que uma

demanda é coberta se esta pode ser servida dentro um tempo especificado (OWEN e DASKIN, 1998).

Plastia (2002) divide os problemas de cobertura em dois principais segmentos: atender à cobertura pré-estabelecida ou otimizar a cobertura. Dois exemplos são os problemas de localização com cobertura fixa e os problemas de máxima cobertura. Nos problemas de cobertura fixa, o objetivo é minimizar o custo de localização das facilidades, tal que um nível especificado de cobertura seja obtido. Esta formulação, não faz nenhuma distinção entre regiões baseado no tamanho da demanda. Cada região, contendo um único cliente ou uma porção grande da demanda total, deve ser coberta dentro da distância especificada, indiferentemente aos custos. Se a distância de cobertura for pequena em relação ao espaçamento de regiões de demanda, a restrição de cobertura pode conduzir a um número grande de instalações a serem localizadas.

O problema de cobertura fixa permite examinar quantas instalações são necessárias para garantir um certo nível de atendimento a todos os clientes. Estes problemas são formulados como segue:

$$\min \sum_{j \in J} x_j \quad (3.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (3.2)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (3.3)$$

Onde I é o conjunto de regiões de demanda, indexado por i , J é o conjunto de locais candidatos a receber facilidades, indexado por j , N_i é o conjunto de todos os locais candidatos que podem cobrir o ponto de demanda i e x_j é a variável de decisão.

A função objetivo (3.1) minimiza o número de instalações localizadas, enquanto a restrição (3.2), assegura que cada ponto de demanda está coberto por, pelo menos, uma facilidade. A Restrição (3.3) estipula a decisão de instalar ou não uma facilidade (CURRENT *et al.*, 2002).

Current *et al.* (2002) também comentam que a função objetivo do modelo de cobertura fixa pode ser generalizada, incluindo custos de implantação como coeficientes

das variáveis de decisão. Neste caso, o objetivo seria minimizar o custo fixo total da configuração de instalações.

O Problema de Máxima Cobertura busca maximizar a demanda coberta, dentro da distância aceitável para um número fixo de instalações a serem localizadas. Em um senso comum, assume-se que um ponto de demanda é coberto completamente se situado dentro da distância crítica da facilidade. Este problema pode ser formulado da seguinte forma:

$$\max \sum_{i \in I} h_i z_i \quad (3.4)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j - z_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (3.5)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (3.6)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (3.7)$$

$$z_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \quad (3.8)$$

Onde I é o conjunto regiões de demanda, indexado por i , J é o conjunto de locais candidatos a receber facilidades indexado por j , N_i é o conjunto de todos os locais candidatos que podem cobrir o ponto de demanda i , h_i é a demanda no ponto i , p é o número de instalações para localizar e Z_i é a variável de decisão:

$$z_i = \begin{cases} 1 & \text{Se a demanda } i \text{ é coberta} \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases}$$

A função objetivo (3.4) maximiza a demanda total coberta. A restrição (3.5) assegura que a demanda do ponto i não é contada como coberta, a menos que se localize uma facilidade em locais candidatos que cobrem o ponto i . A restrição (3.6) limita o número de instalações a serem localizadas. Já as restrições (3.7) e (3.8) indicam a natureza binária das decisões de instalar uma facilidade e de cobertura do ponto de demanda.

Como a ótima solução para um problema de máxima cobertura, é particularmente, sensível à escolha da distância crítica, deve-se ter cuidado para não

mudar a solução repentinamente de “completamente coberto” para “não coberto”, sob pena de conduzir a resultados errôneos. Karasakal e Karasakal (2004) propõem uma aproximação, onde assumem que o ponto de demanda pode ser coberto completamente dentro da distância crítica mínima, parcialmente coberto até uma distância crítica máxima e não coberto quando fora desta distância.

As formulações de problemas de cobertura fixa e máxima cobertura assumem um conjunto finito de locais potenciais para as facilidades. Tipicamente, o conjunto de locais potenciais consiste em alguns ou todos os pontos de demanda da rede subjacente. Somando-se a isto, pesquisas a estes modelos mostraram que são permitidas instalações em qualquer lugar da rede, podendo o problema ser reduzido a um, com escolhas finitas, para os locais de facilidades (OWEN e DASKIN, 1998).

3.2.2 Localização de Medianas

Diversos problemas de localização fazem referência às medianas. Schilling *et al.* (2000) mencionam que a procura de p -medianas, em uma rede, é um problema clássico de localização, onde a finalidade é localizar P facilidades, de modo a minimizar a soma das distâncias de cada ponto de demanda à sua facilidade mais próxima. O problema de p -medianas recebeu atenção difundida porque é apropriado para muitas decisões de localização de facilidade, que formam a base para problemas mais complexos.

O problema de localização p -mediano estava originalmente definido por Hakimi (1965) *apud* Furtado (1998), em uma rede de nós e arcos. Na rede, os arcos equivalem às rodovias e os nós são os locais onde as facilidades podem ser localizadas. O referido autor provou que, para problemas de rede, existe uma solução ótima, para a qual todos os locais de facilidade estão em nós. Esta descoberta lhe permitiu formular a versão de rede do problema p -mediano de programação inteira binária.

Os potenciais locais de facilidades limitam-se aos nós da rede, todavia, reduzem o número de possíveis configurações de localização para:

$$\binom{N}{P} = \frac{N!}{P!(N-P)!} \quad (3.9)$$

Onde N representa o número de nós na rede e P o número de instalações (OWEN e DASKIN, 1998). A formulação do problema pode ser visualizada a seguir.

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i d_{ij} x_{ij} \quad (3.10)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.11)$$

$$x_{ij} \leq y_j, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.12)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = P, \quad (3.13)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.14)$$

Tal formulação é baseada na anotação seguinte:

P – número de instalações ser localizado

n – número total de nós de demanda

a_i – a quantia de demanda a nós i

d_{ij} – distância ou tempo entre área de demanda i e local j

i, I – índice e conjunto de áreas de demanda, normalmente nós de uma rede,

j, J – índice e conjunto de locais de facilidade, normalmente nós de uma rede,

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Se a demanda } i \text{ é atendida pela facilidade } j \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{Se o local } j \text{ é selecionado para ter uma facilidade} \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases}$$

A primeira restrição (3.11) assegura que cada ponto de demanda tem de ser atendido por, pelo menos, um local de facilidade. A restrição (3.12) obriga que qualquer atendimento seja feito somente pelos locais que foram selecionados para ter uma facilidade. Já a equação (3.13), restringe o número de instalações a serem localizadas a exatamente P . A restrição final (3.14) lista as exigências à binariedade das variáveis x_{ij} e y_j . Deste modo, a formulação anterior pode ser usada para identificar uma solução ótima global para uma aplicação baseada em rede (CHURCH e SORENSEN, 1994).

Notadamente, o modelo de p-medianas é um dos modelos de localização mais abordados na literatura, de tal modo que tem sido aplicado em inúmeras ocasiões para localizar centros nos setores públicos e privados. Conceitualmente é bem simples, contudo, tem um número elevado de soluções e nem sempre é possível resolvê-lo de forma ótima.

3.2.3 Problema de Localização Não-Capacitada

Os problemas de localização não-capacitada são uma variação do problema de p-mediana, onde existe um custo fixo associado à localização de potenciais instalações. Neste modelo, acrescenta-se à função objetivo (3.15) uma parcela de custo fixo e retira-se a restrição que impõe o número de facilidades a serem localizadas. O modelo resultante visa determinar o número e os locais das instalações, de tal maneira que minimize o custo total de implantação e viagens entre os pontos da rede. A formulação deste problema é ilustrada a seguir:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} y_{ij} + \sum_{j \in J} f_j x_j \quad (3.15)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3.16)$$

$$y_{ij} \leq x_j, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.17)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (3.18)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.19)$$

Onde I é o conjunto de pontos de demanda, indexado por i , J é o conjunto de locais candidatos a receber uma facilidade, indexado por j , f_j é o custo fixo de localizar uma facilidade no local candidato j , c_{ij} é o custo variável total para servir todos os i pontos de demanda, pela de facilidade j , e as variáveis binárias de decisão são x_j e y_{ij} .

O modelo supracitado pode ser transformado em um problema capacitado, ou seja, existe a possibilidade de considerar a capacidade das instalações. Para tal, deve-se agregar à formulação anterior uma restrição do tipo:

$$\sum_{i \in I} h_i y_{ij} \leq w_j x_j \quad \forall j \in J \quad (3.20)$$

Onde w_j é a capacidade da instalação localizada em j .

Vários outros modelos foram desenvolvidos com base nas quatro formulações gerais apresentadas a cima. Desta forma, é importante perceber que, na formulação do problema, existem muitos objetivos que podem ser considerados, sendo que estes, muitas vezes, são conflitantes. Então, torna-se fundamental a definição clara das necessidades e objetivos do sistema, além da identificação das variáveis e parâmetros a serem incluídos no modelo.

3.2.4 Métodos Heurísticos de Busca

Conforme Current *et al.* (2002), modelos de localização são, freqüentemente, extremamente difíceis de resolver por otimização, até mesmo os modelos com dimensões reduzidas são computacionalmente intratáveis para problemas grandes. Assim, a aproximação mais habitual é o uso de heurísticas para resolver estes problemas. A seguir são apresentadas as heurísticas mais citadas na literatura de problemas de localização:

- Busca Local: Este talvez seja o método de busca mais simples. Começa com uma determinada solução inicial e confere seus vizinhos, procurando melhores soluções. Se tais soluções existirem, então a busca local designa a melhor solução achada nos vizinhos como a solução atual e repete o processo. No caso dos vizinhos da solução atual não conterem nenhuma solução melhor, o método retorna a solução atual e termina. Ghosh (2003) adverte que este método não garante soluções ótimas globais para a maioria dos problemas combinatórios, entretanto, geralmente devolve soluções de qualidade relativamente boas. O assunto crítico na busca local é, essencialmente, como definir a vizinhança e a estratégia de busca.
- Busca Tabu: É uma metaheurística que cria procedimentos adaptativos para guiar uma heurística de busca local, visando encontrar soluções espaciais além do ótimo local. Tal método segue o princípio básico da busca local, movendo-se, a cada iteração da solução atual, para a melhor solução

disponível nos vizinhos. Ghosh(2003) explica que, na busca tabu, os locais que foram envolvidos em movimentos recentes são desencorajados a participar de movimentos na iteração atual. Depois de cada iteração, os locais envolvidos no movimento atual são colocados na lista tabu e ficam lá por um número predefinido de repetições, não podendo participar em movimentos durante este período, a menos que tais movimentos satisfaçam um critério de aspiração. Esta estrutura permite que a busca tabu continue explorando os espaços de soluções, sem parar pela ausência de movimentos de melhora e sem voltar a um ótimo local do qual acabou de sair.

- *Greedy Randomised Adaptive Search Procedure (GRASP)*: Este método possui quatro componentes básicos: uma função “gulosa”, uma estratégia de busca adaptável, um procedimento de seleção probabilística e uma técnica de busca local. Segundo Resende e Ribeiro (2003), estes componentes estão interligados, formando um método iterativo com uma possível solução construída a cada iteração GRASP independente. Cada iteração consiste em duas fases, uma fase de construção e outra de busca local, sendo mantida a melhor solução global como resultado.
- *Simulated Annealing*: É uma técnica baseada na forte analogia entre otimização combinatória e o processo físico de cristalização. Conforme Aerts e Heuvelink (2002), tal analogia assume que os estados físicos são representados pelas soluções e o nível de energia pelos custos. A prática mostrou que uma diminuição, suficientemente lenta, do parâmetro em geral, chega à ótima solução. No *simulated annealing*, o ponto crucial é a maneira pela qual a temperatura irá decrescer. Em amplo cristal, por exemplo, caso a temperatura seja reduzida rapidamente, o cristal apresentará inúmeras imperfeições.
- *Algoritmos Genéticos*: Estes, surgem como uma maneira de solucionar problemas de busca adaptativa, nos quais o conhecimento para controlar a procura é obtido dinamicamente. O método usa o conceito de adaptação natural e procriação seletiva de organismos. Com algoritmos genéticos, um cromossomo, que é a representação codificada do material genético de um

organismo, corresponde a uma solução dentro do conjunto de soluções possíveis do problema. Em outras palavras, cada possível solução de um problema é codificada como um fio de genes, sendo que este fio carrega a informação que define aquela particular solução. Cada cromossomo tem um valor de aptidão, que corresponde à função objetivo da solução associada. O cromossomo é o elemento básico dos algoritmos genéticos, ele é considerado o centro para executar as operações necessárias de procura por uma boa solução existente no espaço de solução, imitando o processo de seleção natural. Na visão de Gen e Cheng (1997), os aspectos mais importantes a serem considerados em um algoritmo genético são: boa representação, população inicial, função de *fitness*, eficiente operador genético, *crossover*, mutação e parâmetros.

3.3 PROBLEMAS DE ROTEAMENTO

Segundo Goldberg e Luna (2005), um sistema de roteamento pode ser considerado como um conjunto organizado de meios, que objetiva o atendimento de demandas localizadas nos arcos ou nos vértices de alguma rede de transportes. Os autores afirmam que o objetivo geral do roteamento de veículos é minimizar o “custo total” de transporte no atendimento aos clientes, isto é, minimizar custos fixos, custos operacionais e o número de veículos envolvidos no transporte.

Assim sendo, o problema de roteamento de veículos visa definir rotas para os veículos, determinando quais clientes devem ser atendidos, de maneira a não infringir nenhuma restrição e otimizar certa função objetivo. Laporte (1992) comenta que normalmente são consideradas as três funções objetivos a seguir:

1. Minimizar a distância total percorrida ou o tempo gasto por todos os veículos;
2. Minimizar o número total de veículos e, com este número mínimo, minimizar a distância total percorrida;
3. Minimizar a combinação de custo de veículos e distância percorrida.

O problema clássico de roteamento, abordado na literatura corrente, considera m pontos de demanda espacialmente distribuídos, cada um com sua demanda de produto. Tal produto é entregue a partir de um armazém por uma frota homogênea de veículos, ou seja, caminhões de mesma capacidade. Cada veículo cumpre um trajeto, saindo do armazém e entregando o produto para um subconjunto de clientes, atendendo às necessidades de demanda e retornando ao armazém. Laporte (1992) ressalta que, nesse processo de roteamento, a quantidade de produto entregue não pode ultrapassar a capacidade do caminhão e o tempo limite para realização do percurso não deve ser excedido.

De acordo com Goldberg e Luna (2005), em diversos problemas de roteamento, deve-se levar em conta também alguns fatores que dificultam a construção e a solução dos modelos, tais como:

- Frota heterogênea: veículos com diferentes capacidades de carga;
- Janelas de tempo: representam o intervalo de tempo no qual a entrega ou coleta da mercadoria deve ocorrer;
- Viagens longas: a circulação entre cidades geralmente força os veículos a circularem mais de um dia. Devem, então, ser estabelecidas regras especiais na formação da rota, o que torna o problema muito mais complexo;
- Horários de início e fim das atividades: alguns dos problemas requerem que todos os veículos devam começar e terminar na mesma hora. Outros permitem diferentes especificações de horário de início e final para as rotas de cada um dos veículos, o que os tornam mais realistas, pois, na prática, nem sempre é possível que todos os veículos deixem o depósito simultaneamente;
- Questão de assimetria: em um problema de roteamento de veículos, a questão de assimetria é um fator muito importante. Um problema é assimétrico quando o caminho para ir de i até j é diferente do caminho de j até i . Um exemplo prático disso ocorre com vias de única direção, ou quando os locais são separados por alguns obstáculos físicos.

Sabe-se que o modelo é a tentativa de representar uma realidade, ao modo que os fatores acima citados devem ser considerados sob pena de comprometer o estudo. Segundo Freitas (2001), modelagem pode ser definida como um processo de criação e descrição, envolvendo um determinado grau de abstração que, na maioria das vezes, acarreta em uma série de simplificações sobre a organização e o comportamento do sistema real. Esta afirmação reforça a importância de conhecer plenamente o sistema, vislumbrando parâmetros e variáveis fundamentais para uma representação adequada de realidade.

Neste contexto, os autores Bodin *et al.* (1983) propõem uma classificação clássica, descrita na Tabela 3.1, para os problemas de roteamento, a qual auxilia na concepção do modelo através de uma melhor abstração da realidade.

Tabela 3.1: Classificação para Problemas de Roteamento (BODIN *et al.*, 1983)

Características	Classificação
1. Tamanho da frota	Um veículo; Múltiplos veículos.
2. Tipo da frota	Homogênea; Heterogênea; Veículos especiais.
3. Localização dos veículos	Um depósito; Múltiplos depósitos.
4. Natureza das demandas	Determinística; Estocástica.
5. Localização das demandas	Nos nós; Nos arcos.
6. Tipo de rede	Não direcionada; Direcionada; Misturada; Euclidiana.
7. Restrições de capacidade do veículo	Mesma capacidade; Diferentes capacidades; Capacidade limitada.
8. Tempo máximo das rotas	Mesmo tempo de duração; Tempos diferentes; Não imposto.
9. Operação	Coletas; Entregas; Entregas e coletas; Demandas quebradas.
10. Custo	Custo variável; Custos fixos de operação.
11. Objetivos	Minimizar o custo total das rotas; Minimizar a soma dos custos fixos e variáveis; Minimizar o número de veículos requeridos; Maximizar a utilização baseada no serviço ou conveniência; Maximizar a utilização baseada nas prioridades de atendimento.

3.3.1 Planejamento Global do Roteamento

Goldbarg e Luna (2005) comentam que o sistema de roteamento, como qualquer sistema operacional, pode ser decomposto, sob a ótica da operação, em estratégica, tática e logística. As decisões estratégicas e táticas ocasionam impactos sobre todo o sistema logístico, possuindo efeitos duradouros. Convém então observar as decisões estratégicas e táticas citadas por Goldbarg e Luna (2005) e ilustradas na Figura 3.1.



Figura 3.1: Decisões Estratégicas e Táticas para o Problema de Roteamento (GOLDBARG e LUNA, 2005, adaptada)

Nota-se que um sistema logístico dessa natureza é bastante complexo e composto de importantes subsistemas fortemente acoplados, incluindo o roteamento. Apesar da compreensão do sistema ser necessariamente globalizada, é convincente analisá-lo em etapas, devido a sua complexidade.

3.3.2 O Problema do Caixeiro Viajante

No Problema do Caixeiro Viajante, um veículo que deve partir do depósito, visitar um conjunto de cidades (clientes), passando uma única vez em cada, e regressar ao depósito, fazendo o menor percurso possível. Historicamente, este problema tem andado junto com o Problema de Roteamento de Veículos. Golden *et al.* (1977) entendem que o Problema do Caixeiro Viajante pode ser visualizado como um problema de roteamento de veículos simplificado, com apenas um depósito e um

veículo, cuja capacidade excede a demanda total. Tal modelo pode ser ampliado para considerar mais veículos, mais depósitos, frotas heterogêneas e outras complexidades existentes na prática.

Golden *et al.* (1977) comentam que a maioria dos modelos de Problema de Roteamento de Veículos são variantes e extensões do Problema do Caixeiro Viajante, sendo o primeiro mais complexo, pois, cada rota no Problema de Roteamento de Veículos é um Problema do Caixeiro Viajante. Ou seja, para se obter o melhor conjunto de rotas para os n veículos existentes no Problema de Roteamento de Veículos, n Problemas do Caixeiro Viajante deveriam ser resolvidos.

3.3.3 Formulação do Problema de Roteamento

De acordo com Goldberg e Luna (2005), os problemas de roteamento de veículos abordam basicamente a determinação de seqüências de visitas, que objetivam atender a uma determinada função objetivo. No entanto, existem na literatura diversas abordagens para diferentes sistemas. A seguir, na Figura 3.2, é apresentada uma possível configuração espacial para o problema de roteamento de veículos.

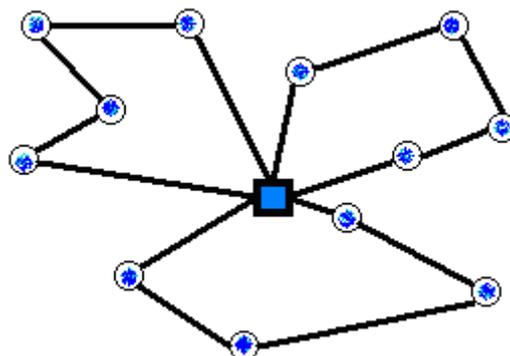


Figura 3.2: Possível Configuração Espacial do Problema de Roteamento

Uma formulação clássica para o Problema de Roteamento de Veículos é dada por Bargarosoglu e Ozgur (1999):

$$\min \sum_i \sum_j \sum_v c_{ij} X_{ij}^v \quad (3.21)$$

Sujeito a:

$$\sum_i \sum_v X_{ij}^v = 1 \quad \forall j \quad (3.22)$$

$$\sum_j \sum_v X_{ij}^v = 1 \quad \forall i \quad (3.23)$$

$$\sum_i X_{ip}^v - \sum_j X_{pj}^v = 0 \quad \forall p, v \quad (3.24)$$

$$\sum_i d_i \left(\sum_j X_{ij}^v \right) \leq Q_v \quad \forall v \quad (3.25)$$

$$\sum_i t_i^v \sum_j X_{ij}^v + \sum_i j \sum_j t_{ij}^v X_{pj}^v \leq T \quad \forall v \quad (3.26)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{0j}^v \leq 1 \quad \forall v \quad (3.27)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{i0}^v \leq 1 \quad \forall v \quad (3.28)$$

$$X_{ij}^v \in Z \quad \forall i, j, v \quad (3.29)$$

Onde X_{ij}^v são variáveis binárias que indicam se o arco (i,j) é utilizado pelo veículo v . A função objetivo de minimização da distância/custo/tempo aparece na equação (3.21). As restrições representadas nas equações (3.22) e (3.23), garantem que cada vértice é atendido por um único veículo. A equação (3.24) garante que um veículo deixa o vértice aonde foi atender a demanda tão logo alcance este vértice. A capacidade do veículo é expressa na equação (3.25), considerando que o limite máximo de duração da rota é dado pela equação (3.26). As restrições (3.27) e (3.28) expressam que a disponibilidade do veículo não pode ser excedida. A equação (3.30) representa a eliminação de *subtour*, onde Z pode ser definido por:

$$Z = \left\{ \left(X_{ij}^v \right) : \sum_{i \in B} \sum_{j \in B} X_{ij}^v \leq |B| - 1 \quad \text{para } B \subseteq V \setminus \{0\}; |B| \geq 2 \right\} \quad (3.30)$$

3.3.4 Métodos de Resolução do Problema de Roteamento

Embora existam métodos exatos para a resolução do problema de roteamento, a complexidade computacional dos problemas permite que estes métodos sejam executados apenas para instâncias pequenas do problema. Uma vez que o Problema de Roteamento de Veículos é considerado *Np-Hard* e seu tempo de execução cresce exponencialmente em relação ao tamanho de sua entrada, para obter boas soluções em um tempo aceitável, heurísticas são cada vez mais utilizadas (BARGAROSGLU e OZGUR, 1999).

Entre as heurísticas e métodos mais utilizados e explorados na literatura, encontram-se a heurística de Clark e Wright, a heurística de Gillet-Miller, o método do vizinho mais próximo, o método das inserções, o método de otimização local e outros.

Uma possibilidade, freqüentemente explorada nas aplicações dos problemas de roteamento, é estabelecer *clusters* que satisfaçam às restrições de capacidades dos veículos e então sequenciar, de forma ótima, o roteiro de entregas dos caminhões dentro dos *clusters*. De uma forma geral, obter a solução para um problema de clusterização, corresponde ao processo de agrupar os elementos de uma base de dados, de tal forma que os grupos formados (*clusters*) representem uma configuração em que cada elemento possua uma maior similaridade com qualquer elemento do mesmo *cluster*, do que com elementos de outros *clusters*. As técnicas de clusterização vêm sendo tratadas com freqüência na literatura, visando à solução de vários problemas de aplicações práticas em diversas áreas do conhecimento.

Alguns pacotes computacionais incluem algoritmos para resolução de problemas de roteamento. Em meio a gama de *softwares* existentes no mercado, merece destaque o TransCAD®, o qual, segundo CALIPER (1996), fornece um conjunto de ferramentas de roteamento de veículos que resolve vários tipos destes problemas, de tal modo que estas ferramentas são usadas para preparar a entrada de dados, resolver o problema de roteamento e apresentar as rotas resultantes e as programações dos veículos em mapa e tabelas.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE LOCALIZAÇÃO

Este capítulo tem por finalidade apresentar o modelo concebido para abordar o problema em estudo. A formalização do modelo é desempenhada com base na análise quantitativa de modelagem sugerida por Goldberg e Luna (2005), demonstrada na Figura 4.1. Os autores propõem a abordagem em etapas, considerando que estas etapas são padronizadas e nem sempre estão inteiramente separadas no tempo, podendo ser conduzidas simultaneamente.

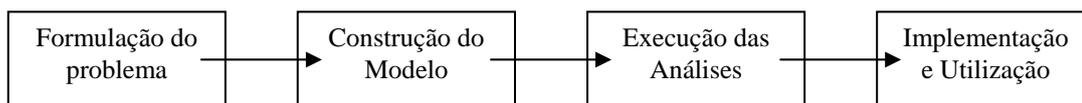


Figura 4.1: Fluxo de Análise Quantitativa (GOLDBARG e LUNA, 2005)

Na primeira etapa, são feitas várias considerações a respeito do problema, procurando, a priori, obter uma descrição qualitativa do mesmo. Posteriormente à caracterização qualitativa, são explicitadas as premissas a serem consideradas no modelo e a definição do escopo. O passo seguinte é identificar os diversos dados a serem considerados na modelagem, como os custos e outras variáveis relevantes.

Na construção do modelo, definem-se quais os dados de entrada e de saída e, em seguida, é realizado o raciocínio de modelagem do problema, em uma abordagem seqüencial e detalhada. Por fim, o modelo proposto para o estudo é apresentado e analisado. Assim, as etapas de análises são abordadas no capítulo 5.

4.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Em uma análise quantitativa, a caracterização do sistema serve como importante instrumento para identificar os elementos do problema. Tal caracterização é embasada nas pesquisas do autor desta dissertação, dentro do contexto estudado.

A logística reversa de pneus foi abordada de forma particular no Capítulo 2. Assim, para melhor entendimento, é detalhada, a seguir, a geração dos pneus inservíveis no estado de Ceará e a possível estrutura logística para atender à geração deste resíduo.

Para cada município delimitado pela área de estudo, o estado do Ceará, foi determinada a demanda de pneus inservíveis. No entanto, a inexistência de dados oficiais referentes à geração de pneus inservíveis e as informações limitadas, relativas à geração desses pneumáticos no Ceará, tornaram necessária a utilização de estimativas. Tal estimativa se baseia na frota de veículos e na venda de pneus, visando obter os valores aproximados de pneus inservíveis.

4.1.1 Estimativa de Pneus Inservíveis

O inventário da frota de veículos no Ceará é baseado nos dados levantados junto ao DETRAN-CE, os quais fazem referência à frota existente até dezembro de 2006. Já a quantidade de pneus vendidos, é fundamentada em valores divulgados pela ANIP, apresentados no item 2.1 desta dissertação. A frota, bem como a estimativa de pneus inservíveis gerados por ano, em cada cidade do Ceará, são apresentadas no Anexo 3.

Primeiramente, estimou-se a quantidade de pneus vendidos em cada cidade do estado. Considera-se, então, que foram colocados no mercado brasileiro 38,5 milhões de pneus, para uma frota de 45.372.640 veículos existentes, segundo dados do DENATRAN (2007). Partindo da premissa que a quantidade vendida é diretamente proporcional à frota, pode-se empregar a proporcionalidade apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Proporcionalidade estabelecida para estimativa de venda de pneus

	Frota		Pneus vendidos
Brasil	45.372.640	↔	38,5 milhões
Cidade <i>i</i>	Frota de <i>i</i> (<i>F_i</i>)	↔	Pneus vendidos em <i>i</i> (<i>PV_i</i>)

$$\text{De onde: } PV_i = \frac{38.500.000 F_i}{45.372.640}, \text{ ou seja: } PV_i = 0,849 F_i$$

Assim sendo, estima-se que a quantidade de pneus colocados anualmente no mercado de uma determinada cidade é 0,849 vezes o valor da frota de veículos existente na mesma. De posse desta constatação, pode-se chegar à estimativa de pneus inservíveis gerados por ano em cada cidade, uma vez que recentes estudos do Instituto de Pesquisas

Tecnológicas – IPT (2007), para a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, revelaram que a geração de pneus inservíveis é de aproximadamente 53,2% do total de pneus velhos. Desta forma, a estimativa de pneus inservíveis PI_i é calculada pela função que segue:

$$PI_i = 0,532 PV_i \quad (4.1)$$

4.1.2 Caracterização do Ambiente

A rede logística deverá seguir a estratégia de atender à quantidade de pneus inservíveis geradas por cada cidade do Ceará, sendo esta estratégia caracterizada pelo planejamento das operações logísticas, que é baseado nas estimativas de geração dos pneumáticos inservíveis. O fluxo é direcionado das cidades à fábrica de reciclagem, em Maracanaú na Região Metropolitana de Fortaleza - RMF. A escolha do município de Maracanaú, como sendo o local onde a unidade de reciclagem deve ser instalada, deu-se pelo fato das grandes empresas distribuidoras de asfalto estarem situadas no distrito industrial da cidade, o que favorece o transporte da borracha reciclada, que servirá de insumo para o asfalto-ecológico.

Tanto pra a produção do asfalto, como para reciclagem da borracha de pneus, existe a necessidade de haver certa quantidade de produto disponível em estoque na unidade fabril. Em decorrência disto, o sistema logístico adotado é contínuo, podendo gerar estoque na fábrica.

A logística reversa de pneus está intimamente ligada à forma como se dá o transporte e onde os pontos intermediários de armazenagem (ecopontos) estão localizados ao longo da rede. A decisão sobre a localização dos ecopontos na rede afeta consideravelmente a estrutura logística do sistema. Diante do exposto, a estratégia de localização apresenta dois tipos de decisões principais: a localização de instalações e a configuração da rede logística.

O modal a ser utilizado para o transporte dos pneus é o rodoviário, devido a sua amplitude dentro do Ceará. Outros modais de transporte como o ferroviário e a cabotagem, embora mais baratos, são mais lentos, mais sujeitos às incertezas e não abrangem a maioria das cidades do Estado.

Na definição da estrutura logística da rede de distribuição reversa, deve-se levar em consideração os seguintes pontos importantes na caracterização do ambiente:

- Aspectos de capacidade: tais fatores são relevantes no planejamento logístico, especialmente na esfera tática. São consideradas as restrições de capacidade dos caminhões e de armazenagem dos ecopontos;
- Aspectos rodoviários: Na estruturação da rede, devem ser considerados a acessibilidade existente para cada cidade, bem como a conectividade destas com a RMF, onde se situa a cidade de Maracanaú. Apesar da evidente relevância, não é considerada a qualidade do pavimento das rodovias do estado, por este ser um fator muito variável.

4.1.3 Características do Modelo

Após a caracterização do ambiente, faz-se necessário definir algumas características do problema a serem contempladas na modelagem:

- No modelo, não serão consideradas análises de capacidade de fabricação ou estocagem na unidade de reciclagem, pois, o foco do estudo é exatamente identificar o potencial do Ceará como fornecedor de borracha para a produção de asfalto ecológico;
- A geração de pneus inservíveis, por cada cidade, possui um comportamento determinístico, ou seja, um único valor estimado por ano;
- O horizonte de planejamento de custos considerado no modelo é anual, sendo considerado um giro mensal do estoque nos ecopontos.

4.1.4 Premissas do modelo

Visando atingir os objetivos do estudo, a elaboração do modelo deve considerar as seguintes premissas básicas:

- A unidade de reciclagem é fixa e localizada no município de Maracanaú, na RMF;

- O número e a localização dos ecopontos não são fixados, sendo respostas a serem dadas pelo modelo;
- É considerado que as cidades têm os pneus inservíveis disponíveis para o sistema, não sendo considerada a logística interna à cada cidade;
- A transferência de pneus de uma cidade, diretamente para fábrica de reciclagem, só é possível se existir um ecoponto situado em Maracanaú;
- Uma cidade pode ser atendida por qualquer ecoponto na rede, não existindo a obrigatoriedade de destinar todos os pneus para um único ponto. Entretanto, devido aos custos de transporte, é presumível que isto aconteça;
- Não são considerados aspectos fiscais.

4.2 CONCEPÇÃO DO MODELO

A etapa inicial na construção do modelo é a representação do problema físico. O objetivo central do problema abordado, consiste em determinar quantos e em quais municípios do Ceará deve ser implantado um ecoponto, minimizando o custo total.

Desta forma, é importante determinar quais os elementos de entrada e de saída do modelo, além das relações matemáticas entre eles, visando à definição da função objetivo. A seguir são definidos os parâmetros e variáveis do modelo.

4.2.1 Parâmetros do Modelo

Os parâmetros são os dados de entrada para o modelo. Com base na formulação do problema, seção 4.1, definem-se os seguintes dados de entrada, com suas respectivas notações:

- N : Número de cidades existentes no modelo;
- M : Número de cidades candidatas a receber um ecoponto;
- E : Capacidade de armazenamento dos ecopontos;

- P_i : Geração de pneus inservíveis específica da cidade i ;
- C_{ij} : Custo unitário de transporte da cidade i para o ecoponto j ;
- C_{jo} : Custo de transporte do ecoponto j para a fábrica de reciclagem em Maracanaú;
- F_j : Custo fixo para implantar um ecoponto na cidade j .

4.2.2 Variáveis do Modelo

As variáveis são as respostas do modelo. Logo, servem de orientação à tomada de decisão para o problema, ou seja, quantos e onde, na rede logística, devem estar localizados os ecopontos. Assim, tem-se as seguintes variáveis para o problema:

- Variáveis inteiras x_{ij} , que definem a quantidade transportada de pneus da cidade i para o ecoponto j ;
- Variáveis binárias y_j , que definem se uma facilidade (ecoponto) é implantada na cidade j , isto é:

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{Se a cidade } j \text{ é seleccionada para ter um ecoponto;} \\ 0 & \text{Caso contrário.} \end{cases}$$

4.2.3 Modelo Proposto

Considerando o estado da arte para o problema em questão, é admissível formar um vínculo entre a logística reversa de pneus no Ceará e o tradicional Problema de Localização Capacitado, abordado por Praça *et al.* (2005) para localização otimizada de plantas de produção de biodiesel de mamona no Estado do Ceará.

O Problema de Localização Capacitado pode ser compreendido quando: Dado um conjunto de facilidades I , em que cada facilidade tem uma capacidade E_i e um conjunto de pontos de demanda J . O Problema consiste em encontrar um conjunto $K \subseteq I$ que atenda a toda demanda dos pontos, de forma a minimizar o custo total. Segundo Praça *et al.* (2005), na abordagem clássica do Problema de Localização Capacitado,

deseja-se solucionar o *trade-off* existente entre o custo de transporte e o custo de implantação de facilidades.

O custo total é composto pelo custo fixo F_j para implantar um ecoponto na cidade j , o custo variável C_{ij} para o transporte até os ecopontos, e o custo variável C_{jo} para o transporte até a unidade recicladora na Região Metropolitana de Fortaleza, em Maracanaú. A primeira parcela, isto é, o custo fixo F_j é dado pelo custo de instalação do ecoponto no município i . Já a segunda e terceira parcelas representam o custo de transporte dos pneus desde o local de geração, que é o custo para transportar uma unidade do produto de i à facilidade j e, posteriormente, de j à planta de reciclagem o . Neste contexto, o Problema de Localização Capacitado torna-se passível de ser formulado como um modelo de programação linear inteira e binária, como segue:

$$\min \sum_{j \in J} F_j y_j + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} C_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} C_{jo} \sum_{i \in I} x_{ij} \quad (4.2)$$

Sujeito a:

$$\sum_j x_{ij} = P_i, \quad \forall i \in I \quad (4.3)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq E_j y_j, \quad \forall j \in J \quad (4.4)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall i \in I \text{ e } \forall j \in J \quad (4.5)$$

$$y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (4.6)$$

Onde x_{ij} é a quantidade transportada de pneus de i para j , e y_j representa a instalação ou não do ecoponto j , ou seja, se $y_j = 1$, então o ecoponto j será instalado, caso contrário, $y_j = 0$.

A Equação (4.3) afirma que uma cidade entrega para os ecopontos toda sua geração de pneumáticos inservíveis (P_i). A Equação (4.4) assegura que a capacidade dos ecopontos (E_j) não seja ultrapassada e que uma cidade não envie para ecopontos fechados. A Equação (4.5) obriga que as quantidades transportadas não sejam negativas e a Equação (4.6) estabelece um sistema binário, que assume valor zero quando a instalação não é localizada em j , e valor um, caso contrário.

Vale ressaltar que o modelo proposto foi baseado em um referencial teórico, que se mostrou o mais próximo à realidade do problema proposto dentre os modelos levantados na pesquisa bibliográfica realizada.

4.3 APLICAÇÃO DO MODELO

Para a aplicação do modelo proposto, primeiramente é necessário calcular os parâmetros a serem inseridos do modelo. Após as análises baseadas no mapa temático apresentado na Figura 4.2, optou-se por não incluir a Capital do estado no referido problema. Tal opção, justifica-se pela grande discrepância entre a quantidade de pneus inservíveis gerados pelo município de Fortaleza e pelos demais municípios do Ceará, fazendo com que a cidade não seja um bom parâmetro de comparação com o restante do estado.

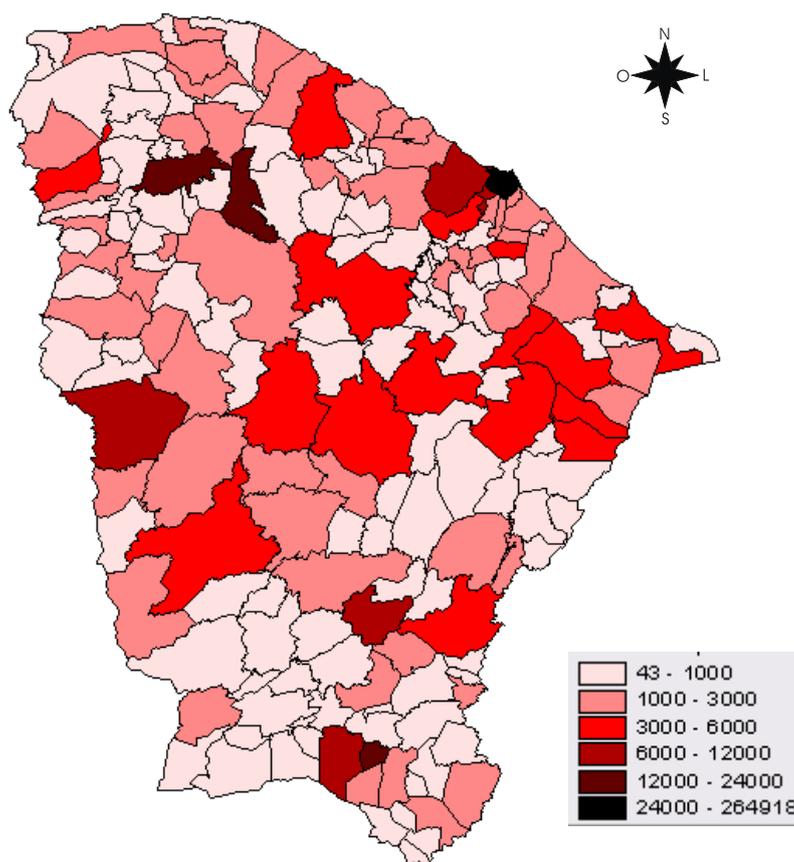


Figura 4.2: Estimativa de Pneus Inservíveis Gerados por Ano nos Municípios do Estado do Ceará

De acordo com as estimativas, a Capital responde por 264.918 dos 560.465 pneus inservíveis gerados por ano no estado do Ceará, necessitando portanto, de um estudo logístico mais direcionado. Diante dessa avaliação, entende-se que um arranjo logístico eficiente deve ser capaz de captar, anualmente, cerca de 295.547 pneus inservíveis nos municípios do interior do Estado.

Neste problema, após a avaliação do mapa temático exposto na Figura 4.3, admite-se que 34, dentre os 184 municípios do Ceará, apresentam condições de acessibilidade satisfatória. Tal aspecto, estabelecido pelo Indicador de Conectividade Geral dos Municípios do Estado do Ceará e proveniente do Plano Diretor e Operacional do Transporte Intermunicipal de Passageiros do Estado do Ceará - PDOTIP (2007), torna essas 34 cidades, candidatas potenciais a abrigar um ecoponto para armazenagem intermediária dos pneus inservíveis.

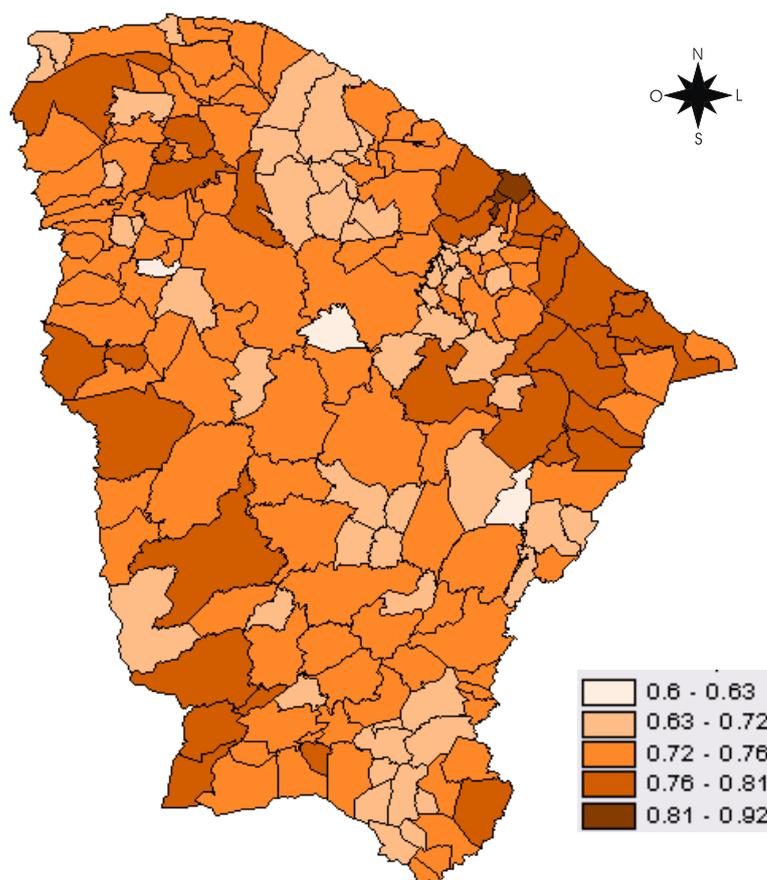


Figura 4.3: Indicador de Conectividade Geral dos Municípios do Estado do Ceará

Conforme PDOTIP (2007), o atributo conectividade tenta mensurar o nível de ligação entre municípios, proporcionado pela malha rodoviária. O índice é calculado por

meio da razão entre a distância euclidiana, ou seja, em linha reta, entre a sede do respectivo município e as sedes de todos os demais municípios do Ceará, e a distância percorrida na malha viária.

Diante do exposto, o problema pode ser representado esquematicamente conforme a Figura 4.4, apresentada a seguir:

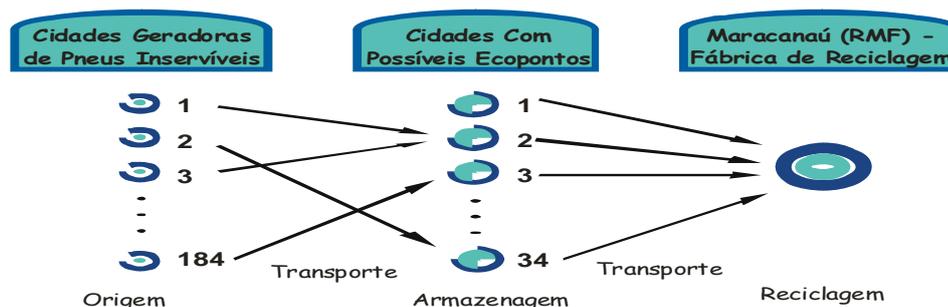


Figura 4.4: Representação do Problema de Localização Capacitado

Como o objetivo principal está relacionado com a minimização de custos, é fundamental estabelecer quais os custos de transporte e de instalação dos ecopontos. Assim sendo, percebe-se a necessidade de realizar diversos estudos preliminares que possam subsidiar a modelagem. Isto significa que se deve conhecer os parâmetros de custos relacionados ao transporte rodoviário e aos locais candidatos a receber um ecoponto. Para o cálculo destes parâmetros, foi adotado o seguinte procedimento:

1. Geração da matriz de distâncias rodoviárias (Anexo 4) entre todas as cidades do estado e os locais candidatos a receber o ecoponto, além das distâncias destes locais para Maracanaú, onde se admitiu estar situada a fábrica de reciclagem de pneus. Para tal, foi utilizado o programa Totem Rodoviário®, disponibilizado pelo Departamento de Edificações e Rodovias do Ceará - DER/CE;
2. Associação de um valor de R\$ 0,0017/pneus.km para cada par de origem/destino. Tal valor foi obtido através de cálculos com base em números da Revista Economia e Transporte (2007) para o caminhão médio, conforme mostra a Tabela 4.2. Optou-se por fazer o estudo com o caminhão médio devido a sua capacidade de carga ser razoável e suas dimensões permitirem entrar em cidades onde a acessibilidade é precária, além de possuir um custo de transporte bem reduzido se comparado ao caminhão leve.

Tabela 4.2: Custo de Transporte de Pneus (REVISTA ECONOMIA E TRANSPORTE, 2007, adaptada)

Veículo	Preço por km Rodado	Capacidade (nº de pneus)	R\$/Km.pneu
Caminhão Leve	R\$ 2,06	500 pneus	0,0041
Caminhão Médio	R\$ 2,66	1600 pneus	0,0017
Caminhão Semi Pesado	R\$ 3,41	2500 pneus	0,0014

3. Geração da matriz de custos entre os pontos de geração de pneus velhos e os locais candidatos a receber o ecoponto, além dos custos entre estes municípios e a cidade de Maracanaú, na RMF. Considerou-se que o custo de transporte (CT) é função direta apenas da distância entre os locais de geração, os locais candidatos a receber o ecoponto e o município de Maracanaú. Ou seja: $CT = f$ (*distância*). De tal modo que, para este caso, tem-se:

$$CT (R\$) = 0,0017 \times \text{distância} (km) \quad (4.7)$$

4. Determinação dos custos de implantação do ecoponto em cada um dos 34 municípios selecionados. Considerou-se que os custos de instalação dos ecopontos são diferenciados, em parte, pela conectividade com a Região Metropolitana de Fortaleza, local de origem de grande parte dos materiais e equipamentos necessários à obra. Desta forma, tomando como base o valor médio de construção de um ecoponto, apresentado por CP Solutions (2007), o custo fixo (CF) de implantação do ecoponto é dado pela fórmula:

$$CF (R\$) = \frac{47.836,97}{ICRMF} \quad (4.8)$$

Onde, $ICRMF$ é o indicador de conectividade com a Região Metropolitana de Fortaleza utilizado no Plano Diretor e Operacional do Transporte Intermunicipal de Passageiros do Estado do Ceará - PDOTIP (2007), ilustrado pelo mapa temático da Figura 4.5. Vale ressaltar que a quantia de 47.836,97, encontrada em CP Solutions (2007), trata de uma média de investimentos na construção de ecopontos de 200m² com capacidade para armazenar 4 mil pneus, valor este que será usado no estudo com um giro mensal. Portanto, considera-se uma capacidade de armazenagem anual de 48 mil pneus, para cada ecoponto.

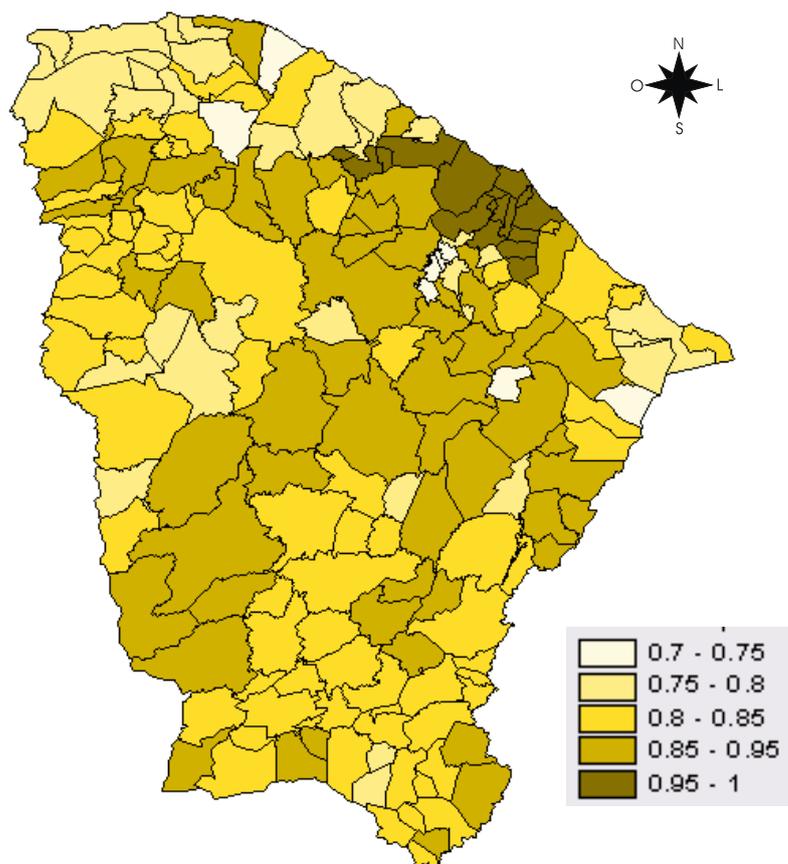


Figura 4.5: Indicador de Conectividade com Relação a RMF dos Municípios do Estado do Ceará

Tabela 4.3: Estimativa do Custo de Instalação de um Ecoponto por Cidade Candidata

Cidade	Custo de instalação do ecoponto	Cidade	Custo de instalação do ecoponto
Beberibe	R\$ 57.634,90	Pacatuba	R\$ 47.836,97
Campos Sales	R\$ 56.278,79	Palhano	R\$ 57.634,90
Cascavel	R\$ 51.996,71	Pindoretama	R\$ 54.360,19
Caucaia	R\$ 47.836,97	Poranga	R\$ 57.634,90
Crateús	R\$ 59.057,99	Quixadá	R\$ 54.360,19
Eusébio	R\$ 47.836,97	Russas	R\$ 53.749,40
Fortim	R\$ 56.278,79	Salitre	R\$ 55.624,38
Granja	R\$ 59.796,21	São João do Jaguaribe	R\$ 51.996,71
Horizonte	R\$ 47.836,97	Sobral	R\$ 54.985,02
Itaiçaba	R\$ 60.553,13	Tabuleiro do Norte	R\$ 57.634,90
Limoeiro do Norte	R\$ 57.634,90	Tauá	R\$ 51.437,60
Maracanaú	R\$ 47.836,97	Aiuba	R\$ 55.624,38
Maranguape	R\$ 47.836,97	Alcântaras	R\$ 58.337,77
Massapé	R\$ 58.337,77	Antonina do Norte	R\$ 57.634,90
Mauriti	R\$ 54.985,02	Aquiraz	R\$ 47.836,97
Morada Nova	R\$ 51.437,60	Aracati	R\$ 60.553,13
Nova Olinda	R\$ 54.985,02	Ararendá	R\$ 57.634,90

A Tabela 4.3 trata da estimativa dos custos fixos de instalação dos ecopontos nas cidades candidatas a receber uma facilidade. Pode-se verificar uma variação de até R\$ 12.716,16, sendo as cidades da região metropolitana as que possuem custos menores, devido à conectividade de 100%.

4.3.1 Software Utilizado

Para resolução do modelo, optou-se por lançar mão de um *software* pertencente a LINDO Systems, Inc®, o LINGO® 8.0. Tal pacote computacional é bastante conhecido no meio acadêmico e possui rotinas para abordagem de problemas de programação linear inteira e binária, entre outros.

Souza *et al.* (2007) explicam que o LINGO® é uma ferramenta computacional para modelagem e resolução de problemas lineares e não-lineares de otimização. Os autores acrescentam que o processo de otimização do programa consiste em tentar encontrar a melhor solução possível para um dado problema, usando técnicas de programação matemática, de forma a atingir o maior benefício/lucro ou gerar o menor custo/desperdício.

A escolha do *software* foi baseada em um aspecto fundamental, que é a facilidade na implementação do modelo através de planilha de dados. Neste aspecto, o LINGO® se mostrou satisfatório, uma vez que permite a interface de dados com o Excel®, através da função @OLE (*Object Linking and Embedding*). Tal função, é usada para importar dados de entrada de uma planilha do Excel® e depois exportar os resultados para esta planilha. Assim, a simplicidade nas transferências de dados proporcionou uma construção do modelo de otimização mais fácil e rápida, através de planilha eletrônica.

4.3.2 Resolução do Modelo

Aplicando o modelo matemático, apresentado na seção 4.2.3 desta dissertação, para o Problema de Localização Capacitado, tem-se a função objetivo de custo total a ser minimizada composta por 6256 variáveis. Sendo que, deste total, 34 são variáveis de instalação e as 6222 restantes estão relacionadas ao transporte de pneus em cada par de

origem/destino. Já as restrições do modelo matemático, dividem-se em 164 relacionadas a oferta de pneus e 34 referentes a capacidades de ecopontos.

A resolução do modelo apresentou um valor de R\$ 467.734,51 para função objetivo, representando o custo para suprir a oferta de pneus inservíveis em cada cidade do Ceará, exceto a capital Fortaleza. O Anexo 5 apresenta o resultado final completo para o modelo proposto, expondo a tabela com as variáveis do problema e seus respectivos valores.

As principais informações da resolução são destacadas na Tabela 4.4, onde se percebe um custo de implantação igual a R\$ 334.858,79, proveniente da instalação de sete ecopontos nas cidades de Caucaia, Eusébio, Horizonte, Maracanaú, Maranguape, Pacatuba e Aquiraz. Fica evidente a maior representatividade do custo de instalação em relação ao custo de transporte, o qual responde por apenas 28% do total e está avaliado em R\$ 132.875,72.

Contudo, é importante salientar que o horizonte de planejamento considerado no estudo é de um ano, ou seja, o custo de transporte deve se manter aproximadamente o mesmo nos anos seguintes, o que não acontece com o custo de instalação, já que este é desembolsado para edificação do ecoponto apenas no primeiro ano de operação. Portanto, a grande parcela referente ao custo de instalação é perfeitamente justificável neste ano inicial.

Tabela 4.4: Síntese dos Resultados do Modelo Inicial – Cenário 1

CENÁRIO 1- MODELO INICIAL			7 ECOPONTOS	
Custo total	Custo de transporte	Custo de instalação	Distância total entre cidades e ecopontos	Distância média entre cidades e ecopontos
R\$ 467.734,51	R\$ 132.875,72	R\$ 334.858,79	48.483,88 km	264,94 km
Cidades com Ecoponto	Quantidade de pneus recebidos	Nº de municípios atendidos	Distância do ecoponto até Maracanaú*(km)	
Caucaia	48.000	11	24	
Eusébio	41.874	17	32,6	
Horizonte	48.000	39	43,6	
Maracanaú	48.000	64	0	
Maranguape	48.000	20	13,6	
Pacatuba	48.000	28	16,6	
Aquiraz	13.673	20	39	

*Cidade onde deve ser instalada a fábrica de reciclagem

Ainda na Tabela 4.4, é possível visualizar o somatório das distâncias entre os municípios geradores de pneus inservíveis e os respectivos ecopontos pelos quais estes são atendidos. Nota-se também, que essa distância média é de 264,94 quilômetros, um valor consideravelmente alto frente as dimensões territoriais do Estado. Essas grandes distâncias, a serem percorridas, dos municípios até as localidades com ecopontos, podem ser justificadas pela grande concentração de ecopontos no entorno da cidade de Maracanaú, onde deve ser instalada a fábrica de reciclagem de pneus. A localização gerada pelo modelo pode ser visualizada espacialmente na Figura 4.6.

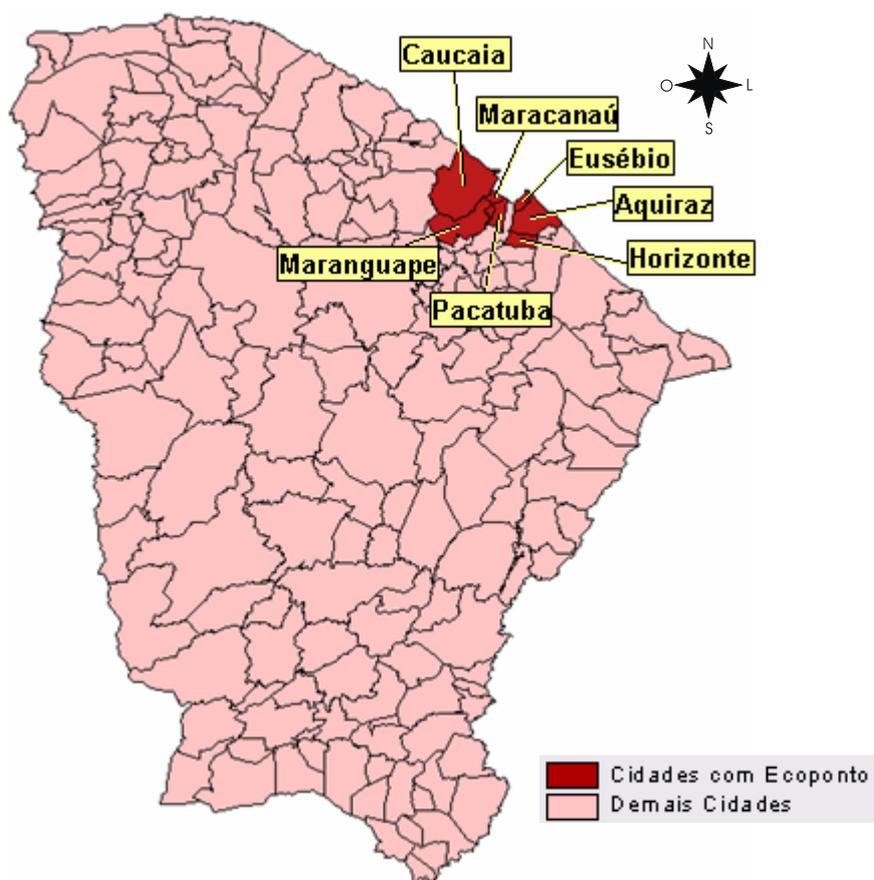


Figura 4.6: Localização Espacial dos Ecopontos pelo Modelo Inicial

Em análise aos resultados apresentados no Anexo 5, pode-se verificar também que algumas cidades são atendidas por mais de um ecoponto, dividindo o envio de seus pneus inservíveis. Tal fator, pode ser atribuído a limitação de capacidade dos ecopontos, forçando algumas cidades a destinarem o excedente de pneus à outros ecopontos que ainda não tenham sua área totalmente preenchida.

CAPÍTULO 5

EXECUÇÃO DAS ANÁLISES

A finalidade deste capítulo é expor como o modelo se comporta diante de algumas variações operacionais e funcionais, visando torná-lo mais factível à realidade. Desta forma, posteriormente à construção do modelo e sua implementação, foram realizadas simulações de cenários e analisados os resultados obtidos em diferentes variações do modelo inicial.

Frente à alta concentração de ecopontos na Região Metropolitana de Fortaleza e às longas distâncias a serem percorridas entre os municípios e as localidades com ecopontos, optou-se por conduzir dois tipos de cenários visando uma maior agilidade operacional: variações na capacidade de armazenagem dos ecopontos e limitação da distância máxima entre as cidades de origem dos pneus inservíveis e os ecopontos correspondentes.

5.1 CENÁRIO 2 – CAPACIDADE DO ECOPONTO EM 75%

Nesta situação, a capacidade de armazenamento dos ecopontos é reduzida à 75% da capacidade inicial. Tal alteração é justificada em prol da maior agilidade no transporte dos pneus inservíveis, tendo em vista que os efeitos desta redução implicam na possível instalação de mais ecopontos. Assim, a capacidade fica limitada à 36 mil pneus por ano. Considera-se, para tanto, que os custos de instalação de ecopontos menores diminuem proporcionalmente a capacidade do mesmo.

Pretende-se, então, analisar como se comporta a solução do modelo diante das alterações operacionais e dos custos fixos dos ecopontos. Há de se mencionar que este novo problema não necessita de alterações na modelagem matemática do modelo inicial, apenas são realizadas atualizações da nova capacidade e dos novos custos dos ecopontos.

Os resultados obtidos para este cenário encontram-se no Anexo 6 desta dissertação e estão resumidos na Tabela 5.1. O custo total ficou avaliado em R\$

463.486,88, sendo a maior parcela atribuída aos custos de instalação, como no modelo inicial.

Tabela 5.1: Síntese dos Resultados do Cenário 2 – Capacidade do Ecoponto em 75%

CENÁRIO 2- CAPACIDADE EM 75%			9 ECOPONTOS	
Custo total	Custo de transporte	Custo de instalação	Distância total entre cidades e ecopontos	Distância média entre cidades e ecopontos
R\$ 463.486,88	R\$ 132.994,44	R\$ 330.492,44	43.801,28 km	239,35 km
Cidades com Ecoponto	Quantidade de pneus recebidos	Nº de municípios atendidos	Distância do ecoponto até Maracanaú*(km)	
Caucaia	36.000	14	24	
Eusébio	36.000	23	32,6	
Horizonte	36.000	24	43,6	
Maracanaú	36.000	27	0	
Maranguape	36.000	24	13,6	
Morada Nova	36.000	22	164,6	
Pacatuba	36.000	32	16,6	
Quixadá	36.000	21	142,6	
Aquiraz	7.547	4	39	

*Cidade onde deve ser instalada a fábrica de reciclagem

A solução apontou para a instalação de nove ecopontos, sendo que as sete cidades encolhidas no modelo inicial se mantiveram, acrescidas apenas pelos municípios de Morada Nova e Quixadá. Desta forma, apesar destes dois municípios não serem vizinhos à Região Metropolitana de Fortaleza, ainda existe uma grande concentração de ecopontos no entorno de Maracanaú. A localização espacial destes ecopontos pode ser visualizada na Figura 5.1.

Diante do exposto, a análise comparativa deixa claro que não existe significativa diferença entre o Cenário 2 e o Cenário Inicial. Tal constatação é válida tanto para os custos de transporte e instalação, quanto para as distâncias dos municípios geradores de pneus inservíveis e seus respectivos ecopontos, que atingem 239,35 quilômetros em média.

Entretanto, vale notar que o ecoponto localizado em Maracanaú passa a atender 27 municípios, número bem inferior aos 64 atendidos por este mesmo ecoponto no modelo inicial. Essa redução reflete de forma positiva ao sistema real, uma vez que a quantidade excessiva de cidades, sendo atendidas por um único ecoponto, pode desequilibrar a rede logística, gerando dificuldades para operacionalizar o sistema.

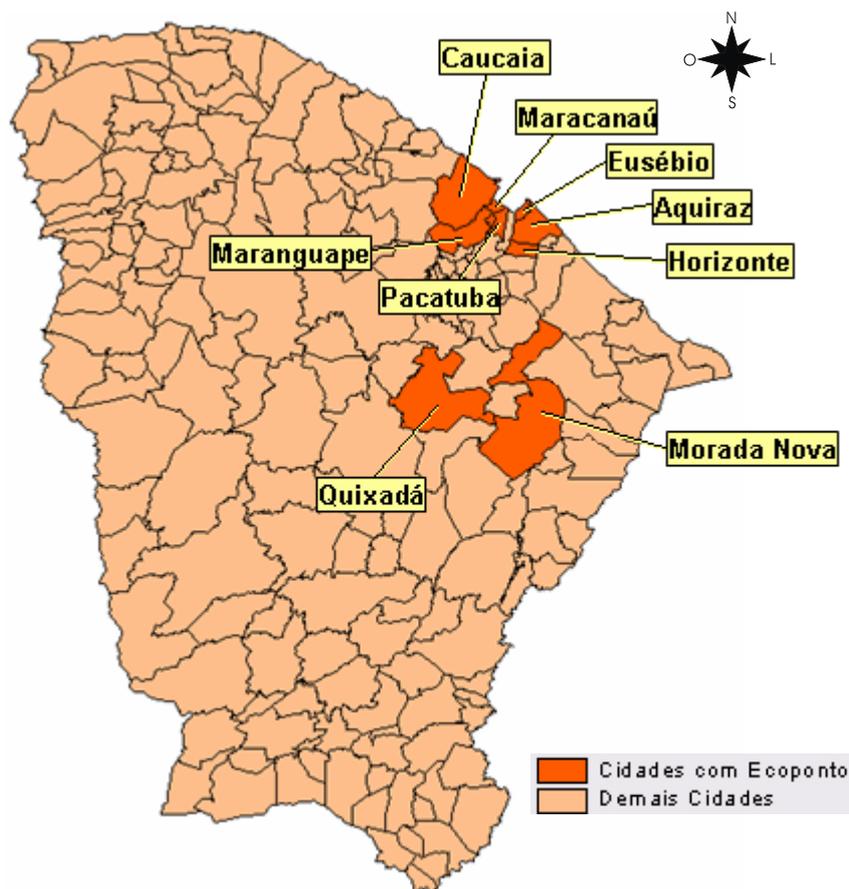


Figura 5.1: Localização Espacial dos Ecopontos pelo Modelo com Capacidade do Ecoponto em 75%

5.2 CENÁRIO 3 – CAPACIDADE DO ECOPONTO EM 50%

Apesar da redução de capacidade dos ecopontos em 75% não ter alterado consideravelmente os resultados do modelo inicial, optou-se por experimentar uma redução mais acentuada da capacidade, na intenção de melhorar a operacionalização do sistema. Assim sendo, este Cenário considera os ecopontos com uma capacidade de armazenagem anual de 24 mil pneus, o equivalente a 50% do valor adotado no modelo inicial. Assim como no Cenário 2, o custo de instalação e a capacidade do ecoponto são diretamente proporcionais, o que exige a atualização desses novos valores de entrada para o modelo.

É importante ressaltar que se considera uma diminuição dos custos de instalação, proporcional à redução de capacidade. Assim, pretende-se saber quantos e em quais locais deverão ser construídos ecopontos, já que as modificações propostas deverão acarretar em uma maior quantidade destes.

A solução do modelo, para a capacidade do ecoponto em 50%, apresentou uma quantia de R\$ 461.568,79 para função objetivo, sendo este o custo total. O resultado final completo para este Cenário está exposto no Anexo 7 e as informações essenciais são destacadas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Síntese dos Resultados do Cenário 3 – Capacidade do Ecoponto em 50%

CENÁRIO 3- CAPACIDADE EM 50%			13 ECOPONTOS	
Custo total	Custo de transporte	Custo de instalação	Distância total entre cidades e ecopontos	Distância média entre cidades e ecopontos
R\$ 461.568,79	R\$ 135.156,13	R\$ 326.412,66	37.992,97 km	207,61 km
Cidades com Ecoponto	Quantidade de pneus recebidos	Nº de municípios atendidos	Distância do ecoponto até Maracanaú*(km)	
Caucaia	24.000	10	24	
Eusébio	24.000	29	32,6	
Horizonte	24.000	15	43,6	
Maracanaú	24.000	8	0	
Maranguape	24.000	21	13,6	
Morada Nova	24.000	10	164,6	
Pacatuba	24.000	19	16,6	
Quixadá	24.000	14	142,6	
Russas	24.000	14	163,6	
São João do Jaguaribe	12.552	11	216,6	
Sobral	24.000	4	255,5	
Tauá	18.995	19	335,3	
Aquiraz	24.000	21	39	

*Cidade onde deve ser instalada a fábrica de reciclagem

Pode-se observar um custo fixo igual a R\$ 326.412,66, decorrente da instalação de treze ecopontos. Dessa quantia, nove são localizados nos mesmos municípios apontados pelo Cenário 2, com capacidade do ecoponto em 75%. Os outros quatro, são indicados para as cidades de Russas, São João do Jaguaribe, Sobral e Tauá. Assim como nos modelos anteriores, fica evidente a maior representatividade do custo de instalação em relação ao custo de transporte que, neste caso, está avaliado em R\$ 135.156,13, o equivalente 29% do total.

Avaliando a solução do problema, nota-se que inserção das quatro novas cidades a receberem ecopontos contribui substancialmente para amenizar a sobrecarga nas localidades próximas a Maracanaú. No entanto, a análise espacial da localização dos galpões, ilustrada pela Figura 5.2, deixa claro a existência de dois pólos onde se concentram os ecopontos, um na Região do Jaguaribe e outro na Região Metropolitana de Fortaleza. Tal aspecto contribui para a média das distâncias entre os municípios

geradores de pneus inservíveis e seus respectivos ecopontos continuar elevada, o que pode refletir de forma negativa na agilidade do sistema logístico.

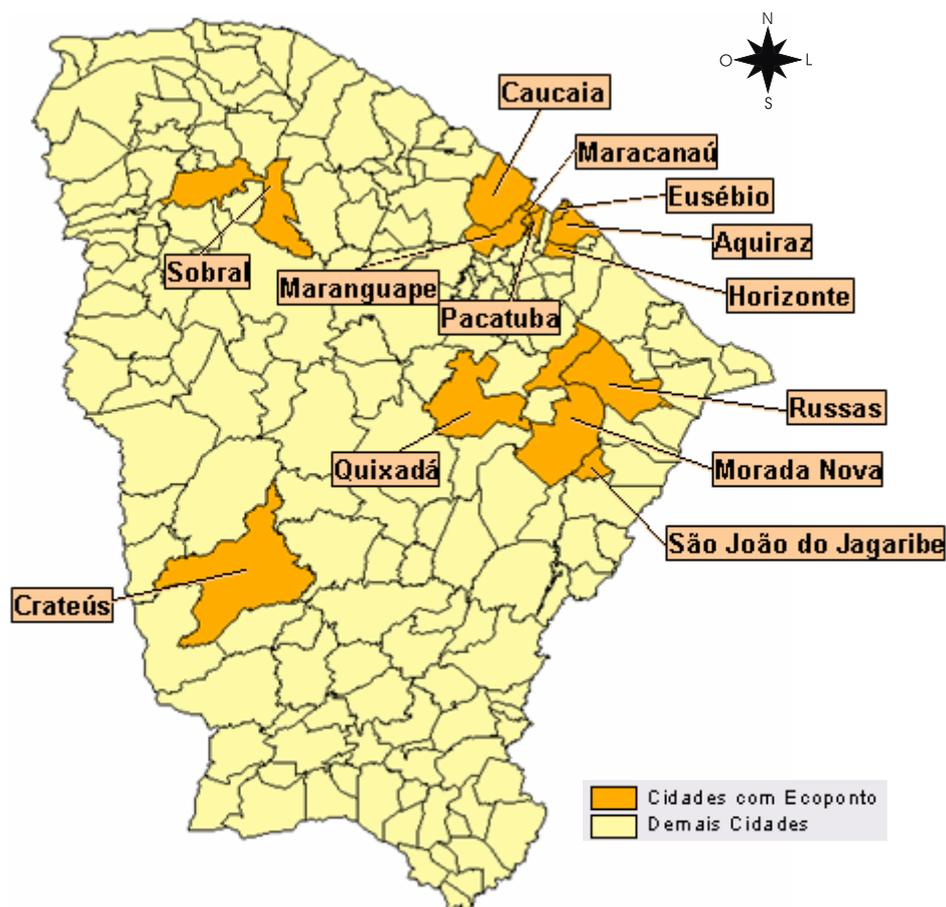


Figura 5.2: Localização Espacial dos Ecopontos pelo Modelo com Capacidade do Ecoponto em 50%

Após a análise comparativa dos cenários, pode-se verificar que a capacidade do ecoponto em 50% gerou resultados vantajosos em relação aos cenários anteriores. Além da sensível redução no custo total e nas distâncias entre as cidades geradoras de pneus e seus ecopontos. O modelo também proporcionou uma melhor distribuição espacial dos ecopontos dentro do território cearense.

Todavia, é importante lembrar que apenas os custos de instalação são considerados na parcela de custos fixos do modelo, desconsiderando eventuais despesas com manutenção e operação dos ecopontos. De acordo com a Revista Pesquisa (2005), cada ecoponto tem um custo de aproximadamente 30 mil reais por ano, empregando cerca de 12 pessoas. Assim, essas despesas devem aumentar com o número de

ecopontos a serem administrados. Portanto, a redução nos custos fixos não pode ser considerada tão significativa ao ponto do cenário 3 ser considerado o mais apropriado.

5.3 CENÁRIO 4 – LIMITAÇÃO DA DISTÂNCIA

Este cenário considera uma limitação na distância máxima entre os municípios geradores de pneus inservíveis e os ecopontos pelos quais estes são atendidos. Esta consideração é baseada na idéia de que a movimentação dos pneus até o ecoponto é mais complexa que do ecoponto até indústria de reciclagem em Maracanaú, uma vez que são 183 pontos de origem considerados no estudo.

A idéia é observar como se comporta a solução do modelo, em especial no que se refere à operacionalidade e aos custos envolvidos no problema. Para tanto, utilizou-se a solução do modelo inicial como referência, adotando como parâmetro a média das distâncias entre as cidades geradoras de pneus inservíveis e seus ecopontos. Assim sendo, após a análise gráfica do histograma apresentado no Gráfico 5.1 e diante das extensões territoriais do estado do Ceará, pôde-se definir o valor da média, aproximadamente 265km, como um valor cabível para a distância máxima a ser empregada no novo modelo.

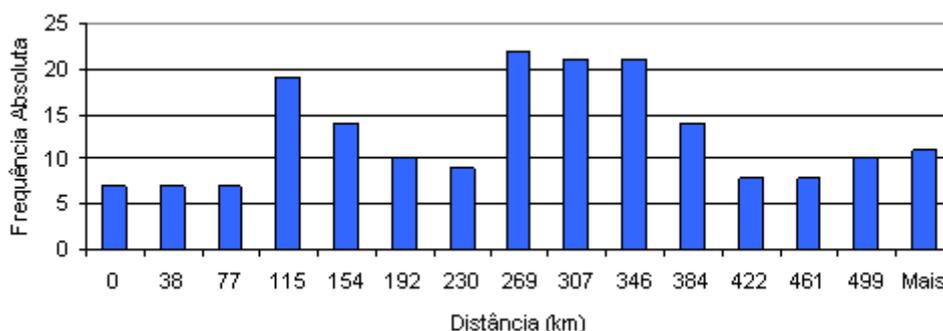


Gráfico 5.1: Histograma das Distâncias entre Cidades e Ecopontos (Modelo Inicial)

Nota-se que a distribuição é bastante heterogênea, existindo uma expressiva quantidade de elevadas distâncias, acima de 265km. Na prática, isto significa que os ecopontos atendem muitas cidades relativamente distantes, longe do município em que está situado, o que provavelmente atrapalha a dinâmica da logística reversa dos pneus. Portanto, limitando essas distâncias em, no máximo, 265 quilômetros, espera-se que as

idades enviem seus pneus para ecopontos instalados mais próximos a ela, refletindo positivamente à operação do sistema real.

Este novo problema, diferentemente dos cenários anteriores, implica na alteração da modelagem matemática inicial. Assim, é introduzida uma nova variável binária W_{ij} , a qual representa a alocação, ou não, dos municípios geradores de pneus inservíveis aos ecopontos. Juntamente com a nova variável, é inserida a restrição de distância máxima, cujo valor arredondado é 265km. Neste contexto, o novo problema de localização capacitado é apresentado a seguir, com as devidas alterações em destaque:

$$\min \sum_{j \in J} F_j y_j + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} C_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} C_{jo} \sum_{i \in I} x_{ij} \quad (5.1)$$

Sujeito a:

$$\longrightarrow \sum_{j \in J} x_{ij} w_{ij} = P_i \quad , \quad \forall i \in I \quad (5.2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq E_j y_j \quad , \quad \forall j \in J \quad (5.3)$$

$$\longrightarrow D_{ij} w_{ij} \leq 265 y_j \quad , \quad \forall i \in I \text{ e } \forall j \in J \quad (5.4)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad , \quad \forall i \in I \text{ e } \forall j \in J \quad (5.5)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad , \quad \forall j \in J \quad (5.6)$$

$$\longrightarrow w_{ij} \in \{0,1\} \quad , \quad \forall i \in I \text{ e } \forall j \in J \quad (5.7)$$

Onde x_{ij} é a quantidade transportada de pneus de i para j , e y_j representa a instalação ou não do ecoponto j , ou seja, se $y_j=1$ então o ecoponto j será instalado, caso contrário $y=0$. Enquanto que w_{ij} trata da alocação ou não da cidade i ao ecoponto j , ou seja, se $w_{ij}=1$ então o município i é atendido pelo ecoponto j , caso contrário $w_{ij}=0$.

A Equação (5.2) afirma que uma cidade, alocada para um ou mais ecopontos, entrega para este(s) toda sua geração de pneumáticos inservíveis (P_i). A Equação (5.3) assegura que a capacidade dos ecopontos (E_j) não seja ultrapassada e que uma cidade não envie para ecopontos fechados. A Equação (5.4) limita a distância entre a cidade geradora de pneus inservíveis e o ecoponto que a atende (D_{ij}) em, no máximo, 265 quilômetros. A Equação (5.5) obriga que as quantidades transportadas não sejam

negativas. A Equação (5.6) estabelece um sistema binário, que assume valor zero quando a instalação não é alocada em j e valor um, caso contrário. Finalmente, a Equação (5.7) estabelece um sistema binário, que assume valor zero quando a cidade i não é alocada ao ecoponto j e valor um, caso contrário.

Vale destacar que a alteração realizada na primeira restrição, Equação (5.2), provoca uma mudança no tipo de modelo tratado. Com a multiplicação de duas variáveis, x_{ij} e w_{ij} , o modelo assume um caráter não linear, podendo ser denominado de modelo de programação não linear inteira e binária. Tal aspecto aumenta consideravelmente as dificuldades para a resolução do problema, elevando também o número de variáveis de 6.256 para 12.478. Contudo, o mesmo pacote computacional, utilizado na resolução do modelo anterior, LINGO® 8.0, possui algoritmos para solucionar problemas não lineares.

Desta forma, o *software* obteve a solução final para o Cenário Limitação da Distância, indicando que devem ser instalados ecopontos em nove localidades: Campos Sales, Cascavel, Caucaia, Granja, Horizonte, Mauriti, Quixadá, Tabuleiro do Norte e Ararendá. A síntese dos resultados é apresentada na Tabela 5.3, extraída do Anexo 8.

Tabela 5.3: Síntese dos Resultados do Cenário 4 – Limitação da Distância

CENÁRIO 4- LIMITAÇÃO DA DISTÂNCIA			9 ECOPONTOS	
Custo total	Custo de transporte	Custo de instalação	Distância total entre cidades e ecopontos	Distância média entre cidades e ecopontos
R\$ 639.888,19	R\$ 151.527,52	R\$ 488.360,67	23.124,68 km	126,36 km
Cidades com Ecoponto	Quantidade Recebida	Nº de municípios atendidos	Distância do ecoponto até Maracanaú*(km)	
Campos Sales	6.712	12	484,4	
Cascavel	32.253	27	71	
Caucaia	48.000	26	24	
Granja	14.076	14	357,5	
Horizonte	48.000	33	43,6	
Mauriti	39.943	17	495,3	
Quixadá	46.560	29	142,6	
Tabuleiro do Norte	28.333	17	212,6	
Ararendá	31.670	23	324,8	

*Cidade onde deve ser instalada a fábrica de reciclagem

Fica evidente um considerável aumento no custo total, o qual passa a ser de R\$ 639.888,19, representando um aumento de aproximadamente 37% em relação ao modelo inicial. Este acréscimo deve-se, em grande parte, ao custo fixo de instalação, o

qual teve um aumento de 46%. Tal fator é perfeitamente compreensível, tendo em vista que o custo fixo é inversamente proporcional à Conectividade com a RMF. Assim, por efeito da limitação de distância, à medida que os ecopontos são instalados distante dessa região, tornam-se mais onerosos.

Entretanto, é importante ressaltar que existem outros custos relacionados aos ecopontos, os quais, devido suas difíceis aferições, não são considerados no modelo. Entre estes, merecem destaque os custos de manutenção e com pessoal de operações, além de outras despesas referentes a aspectos legais.

Ainda na Tabela 5.3, é possível observar uma ampla redução das distâncias entre os municípios geradores de pneus inservíveis e seus respectivos ecopontos. Se comparada com o problema inicial, essa redução chega a aproximadamente 48% para distância média, que fica em torno de 126 quilômetros. Tal fator reflete em uma melhor disposição espacial dos ecopontos dentro do Estado do Ceará, como pode ser visualizado na Figura 5.3.

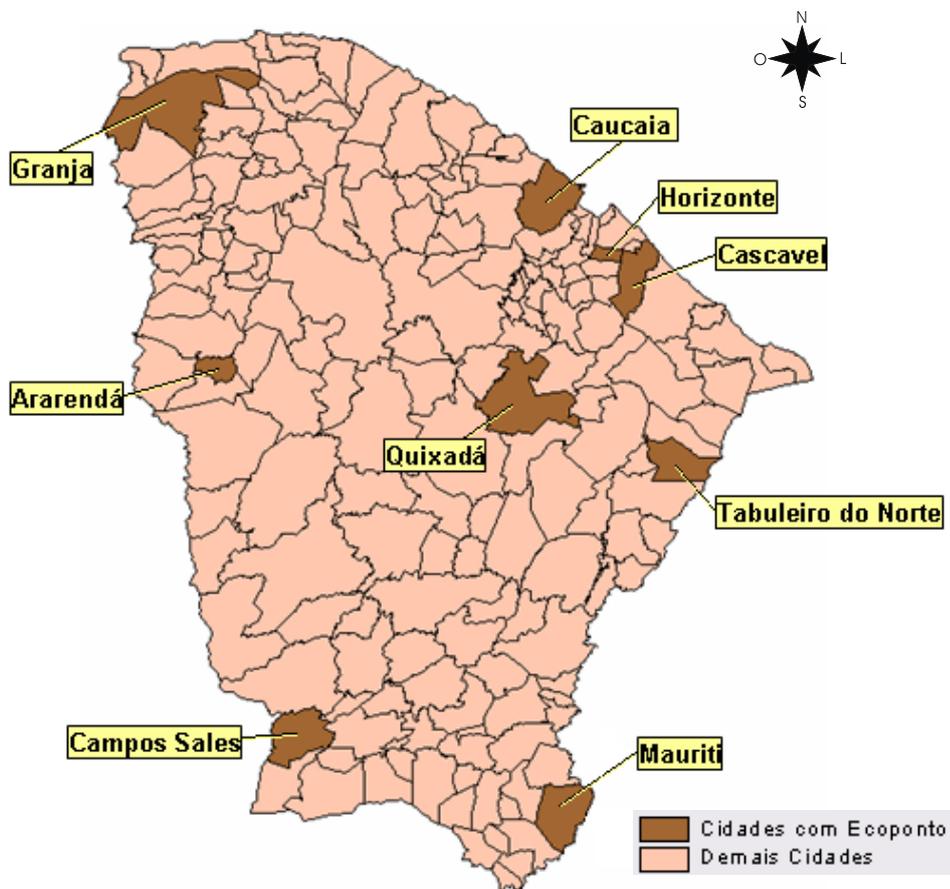


Figura 5.3: Localização Espacial dos Ecopontos pelo Modelo com Limitação de Distância

Na prática, esta nova configuração dos ecopontos por todo o estado é bastante benéfica à operacionalização do sistema logístico. Assim, tem-se o favorecimento da coleta de pneus inservíveis em cada cidade do Ceará, facilitando o roteamento de caminhões e diminuindo o transporte nessa etapa, que é considerada mais complexa. Além da dinamização da logística reversa dos pneus até os ecopontos, o novo arranjo pode proporcionar também uma gestão setorial regionalizada, tendo em vista a existência de ecopontos em quase todas as macroregiões do Estado. A Figura 5.4 apresenta as áreas de influência de cada ecoponto.

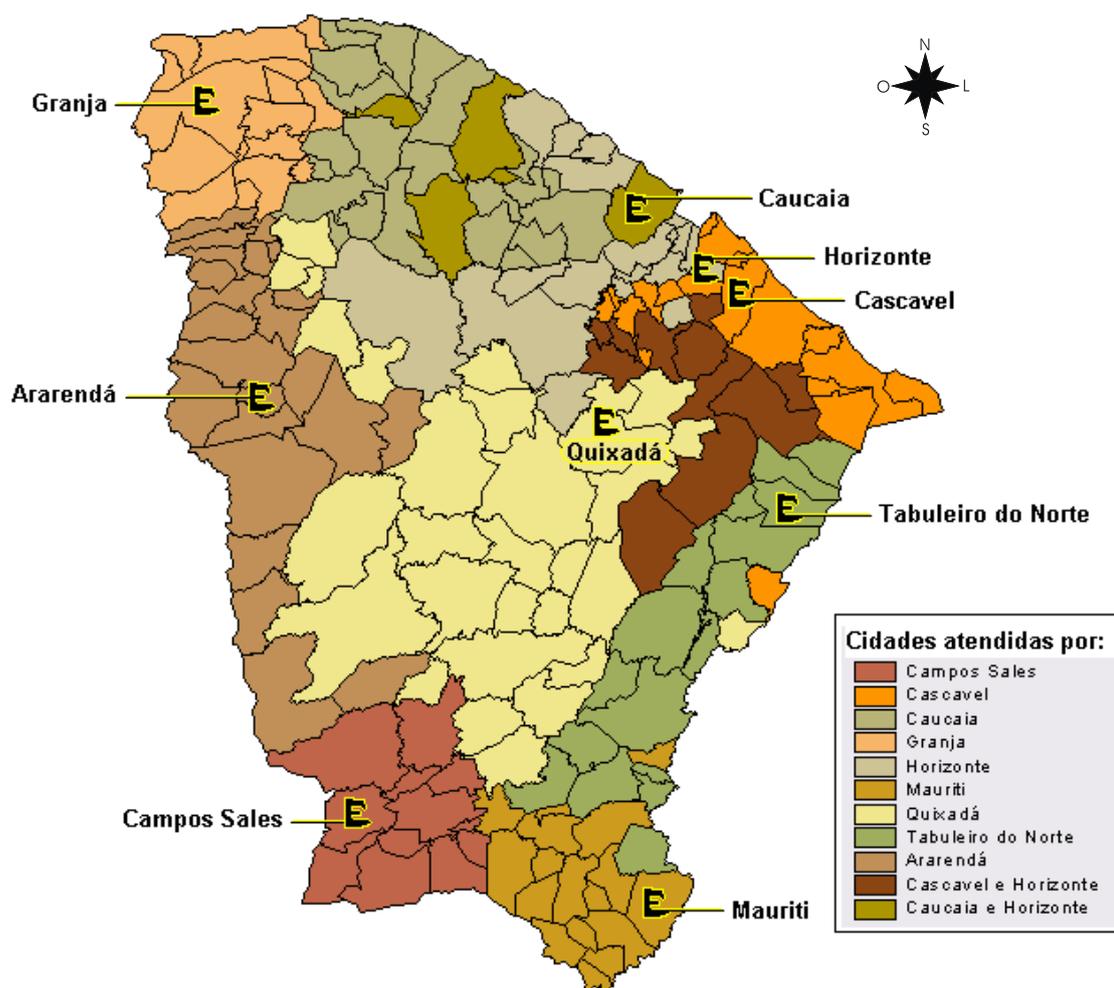


Figura 5.4: Áreas de Influência dos Ecopontos

É perceptível que as áreas de influência estão bem delimitadas, com exceção de alguns municípios. Contudo, o ecoponto situado em Horizonte atende a vários municípios em conjunto com a cidade de Caucaia ou Cascavel, o que poderia dificultar a gerência logística do sistema. Uma alternativa interessante seria instalar ecopontos

com capacidades maiores nas cidades da Região Metropolitana de Fortaleza, no caso, Caucaia e Horizonte. Tal opção é justificada pela maior oferta de pneus velhos provenientes dessa região.

Outro entrave da solução é a baixíssima utilização do ecoponto de Campos Sales, o qual recebe apenas 6.712 pneus inservíveis por ano, o que corresponde a 14% da capacidade. Deste modo, acredita-se que a região sul do Estado poderia ser atendida por apenas uma Cidade, um vez que o ecoponto localizado em Mauriti ainda apresenta cerca de 17% da capacidade ociosa.

Embora existam alguns pontos discutíveis, o modelo com Limitação da Distância oferece boas opções para a tomada de decisão logística, podendo ser considerado o cenário mais apropriado em termos operacionais. Esta localização dos ecopontos, atrelada a um estudo de roteamento robusto, pode proporcionar uma redução considerável nos custos relacionados à logística reversa dos pneus inservíveis. Uma rota otimizada pode cobrir várias, ou até todas, as cidades de uma região, reduzindo as distâncias percorridas e o número de caminhões requeridos na coleta dos pneus até os ecopontos.

As análises dos cenários abordados, demonstram que o modelo proposto é apto a auxiliar no processo de tomada de decisão quanto aos locais de instalação dos ecopontos. A resolução do problema, além de proporcionar a obtenção de uma solução ótima, ainda permite a identificação de aspectos favoráveis à operacionalização do sistema. A Tabela 5.4 apresenta o resumo geral dos resultados obtidos nos quatro cenários analisados.

Tabela 5.4: Síntese dos Resultados

CENÁRIO	Custo total	Custo de transporte	Número de ecopontos instalados	Distância média entre cidades e ecopontos (km)
Inicial	R\$ 467.734,51	R\$ 132.875,72	7	264,94
Capacidade do ecoponto em 75%	R\$ 463.486,88	R\$ 132.994,44	9	239,35
Capacidade do ecoponto em 50%	R\$ 461.568,79	R\$ 135.156,13	13	207,61
Limitação da Distância	R\$ 639.888,19	R\$ 151.527,52	9	126,36

É importante salientar que, na instalação de novos ecopontos, o modelo de localização capacitada apenas proporciona uma idéia de em quais Municípios estes galpões devem ser construídos. A localização mais precisa necessita ser acompanhada de um estudo aprofundado dos locais da cidade, baseados em zoneamento, custo da terra, rodovias e outros. Do mesmo modo, no caso urbano, devem ser realizados estudos logísticos direcionados, a fim de desenvolver ações que possibilitem angariar os pneus inservíveis no âmbito local, junto à população.

5.4 AÇÕES POTENCIAIS A NÍVEL LOCAL

Nesta seção, são apresentadas algumas ações potenciais voltadas à primeira etapa do processo de logística reversa de pneus, a coleta urbana. A identificação destas ações é fruto de pesquisas realizadas junto a instituições governamentais e associações ligadas direta e indiretamente à problemática dos pneus no fim de sua vida útil. O objetivo é contribuir para futuros estudos, em especial trabalhos direcionados à capital Fortaleza, já que a cidade, embora não tenha sido considerada no modelo, responde por aproximadamente 47% dos 560.465 pneus inservíveis gerados por ano no estado do Ceará.

Primeiramente, foi concebida a representação da estrutura da rede reversa municipal, buscando idealizar como seria o início do modelo de distribuição reversa de pneus velhos. Tal representação é ilustrada na Figura 5.5. Desta forma, pode-se identificar os principais agentes envolvidos e em que momento eles interagem. O destaque evidente deve ser dado aos agentes que têm o primeiro contato com os pneus velhos: catadores de lixo, borracharias e revendedores de pneus novos.

O contato com os pneus descartados de forma inadequada pela população deve se dar através dos coletores locais, representados pelos catadores de lixo, que encontram na comercialização de pneus, mais uma fonte de renda. Estes, realizam a coleta em regiões geográficas limitadas aos bairros. Posteriormente, existe a necessidade de consolidação da carga dos catadores, tarefa que deve ser desempenhada pelas Associações e Cooperativas de Catadores. O envolvimento destas entidades é fundamental para o sucesso do sistema de distribuição reversa estudado, pois estão na base do processo, tendo a função de orientar, registrar e determinar o local de coleta.

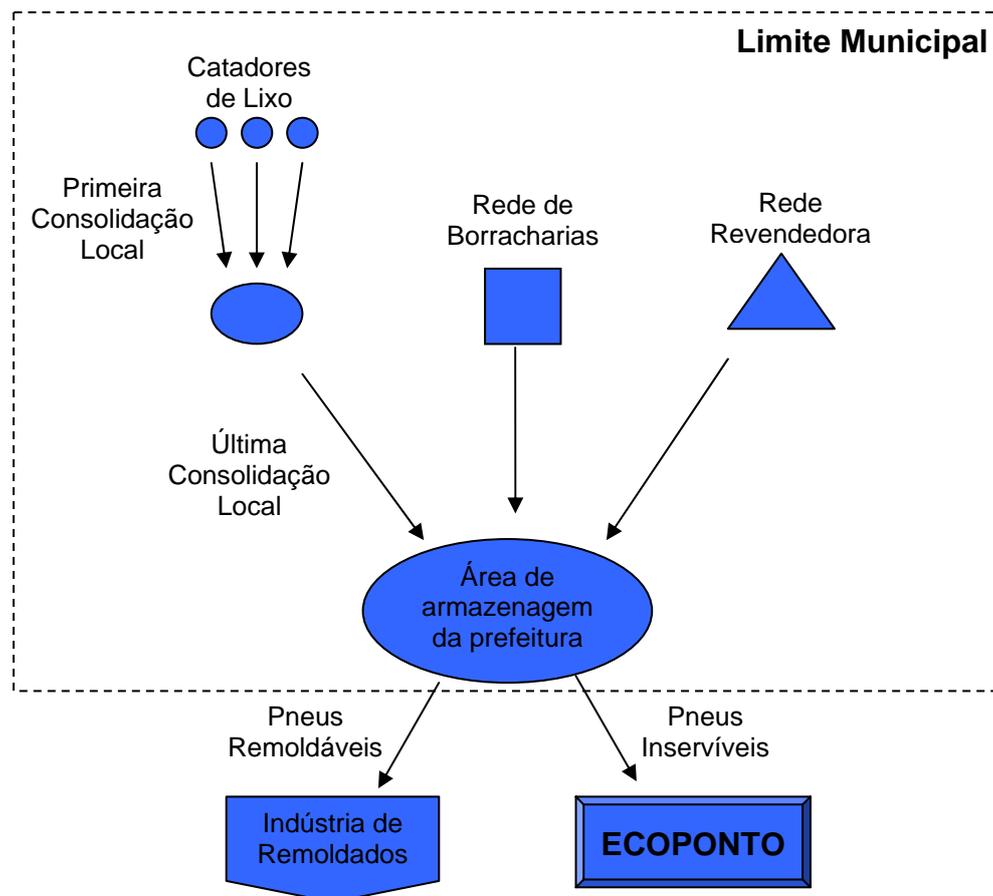


Figura 5.5: Estrutura da Rede Reversa no Âmbito Municipal

As borracharias são consideradas um amplo canal de recebimento, visto que é um local onde vários consumidores trocam os pneus de seus carros e, por vezes, deixam os pneus velhos. Assim, acredita-se que as prefeituras, através das suas secretarias de meio ambiente, devem mover ações no sentido de cadastrar borracharias e organizar os borracheiros em uma associação. Cabe ao município criar formas de incentivos, como por exemplo a redução de impostos, visando a participação efetiva desse segmento na logística reversa de pneus.

Outro canal logístico essencial, que já vem sendo bastante utilizado para recolhimento dos pneus inservíveis, são os revendedores. Estes, estão ligados diretamente aos fabricantes de pneus, representados pela Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP. O papel destes agentes vai desde o recebimento, armazenamento e transporte dos pneumáticos, até campanhas educativas junto à população. Assim sendo, compete à ANIP, por intermédio da rede revendedora, informar aos consumidores sobre os impactos ambientais ocasionados pela disposição

inadequada de pneus no meio ambiente, disponibilizando materiais informativos no momento da venda.

Dentro do limite municipal, o agente mais importante para o funcionamento do sistema é a Prefeitura, sendo responsável por coordenar a operação de coleta de pneumáticos inservíveis no município. As relações com associações de catadores, borracharias e revendedores de pneus necessitam ser estreitadas, possibilitando a participação efetiva dos segmentos que estão na base do processo. Fica a cargo do órgão gestor municipal a consolidação dos pneumáticos proveniente desses três setores, bem como a separação dos pneus inservíveis e dos pneus ainda passíveis de remoldagem. Esta última tarefa pode ser realizada em conjunto com a Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados - ABIP, entidade interessada nesse tipo pneus.

As prefeituras devem atuar também em parceria com o Governo do Estado, disponibilizando espaços para recebimento dos pneus velhos, onde é realizada a última consolidação local, ou cedendo terrenos para a construção de Ecopontos, caso o município tenha sido escolhido para recebê-lo. É interessante que esta parceria se estenda à ANIP e às empresas de asfalto interessadas nos pneus inservíveis para produção do asfalto-ecológico. Estes agentes estariam envolvidos no transporte dos inservíveis até os ecopontos e, posteriormente, até a fábrica de reciclagem, podendo utilizar modelos de localização, como o desenvolvido nesta dissertação, para auxiliar nas tomadas de decisões.

Outra função importante do poder público é a conscientização da população e orientação para que os consumidores encaminhem os pneus velhos para reciclagem. Assim sendo, é interessante promover campanhas junto à população, solicitando-lhes que entreguem os pneus inservíveis nas revendedoras, borracharias cadastradas ou diretamente na área de armazenagem da prefeitura. Visando à participação efetiva da sociedade, este incentivo á captação voluntária de pneumáticos inservíveis deve ser realizado em parceria com empresas do setor público e privado, o que torna possível a implementação de ações alternativas, como, por exemplo, a concessão de descontos nas contas de água, luz ou telefone às pessoas que entreguem seus pneus velhos para prefeitura.

Nota-se que o processo de logística reversa dos pneus é bastante complexo, envolvendo diversos agentes e instituições, sejam elas ligadas ao governo ou não. Diante desta amplitude do sistema e dos problemas gerados por pneus velhos, é fundamental que os governantes desprendam esforços preventivos, ou seja, instruam os motoristas a usar o veículo de forma adequada para reduzir o desgaste dos pneus, elevando sua vida útil e diminuindo a produção deste bem.

É importante refletir sobre a necessidade de obtenção de lucro dos agentes envolvidos nessa logística dos pneus inservíveis. A falta de retorno financeiro, em algum ponto do fluxo reverso, poderia ocasionar uma suspensão imediata de todo o processo. No entanto, a importância da logística e destinação final adequada de pneus velhos vai além dos fatores econômicos, envolvendo aspectos sociais e ambientais. Com isso, alguns elos da cadeia devem ser incentivados por ações governamentais.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação é fruto de um trabalho de pesquisa que abordou a problemática da geração de pneus inservíveis, tendo o objetivo de implementar um modelo de localização para minimizar os custos logísticos de coleta de pneumáticos. Tal estudo torna-se relevante diante da necessidade de incorporação deste resíduo na cadeia produtiva do asfalto-ecológico, que, por sua vez, está inserida em um contexto mais amplo, associado à destinação ecológica e economicamente viável dos pneus inservíveis.

O presente estudo define a rede de distribuição reversa a partir da geração de pneus de cada cidade do Ceará e dos custos de transporte dos mesmos. Como resultado, é determinado o número e a localização ótima de ecopontos a serem instalados no estado. Para o desenvolvimento do trabalho, foi necessária uma verificação da rede rodoviária e da situação atual dos pneus inservíveis, incluindo os aspectos sociais, econômicos e ambientais.

A aplicabilidade da metodologia adotada, bem como do modelo proposto, pôde ser evidenciada após a execução das análises. As soluções obtidas com os dados disponíveis são coerentes com os procedimentos adotados, os quais podem ser usados para decidir onde localizar ecopontos, gerando resultados confiáveis para este problema de localização.

Além disso, diante da amplitude do problema, o modelo demonstrou-se eficiente, gerando soluções ótimas e permitindo alterações nos parâmetros, nas variáveis e, até mesmo, na modelagem matemática. Assim, foi possível representar diferentes situações através de cenários. O desenvolvimento gradativo e estruturado destes cenários resultou em um diagnóstico capaz de auxiliar a tomada de decisão referente à localização de ecopontos, contribuindo, assim, para dinamização do fluxo reverso de pneus.

O estudo realizado nesta dissertação possui um aspecto inovador, visto que a concepção e a estruturação de uma rede de distribuição reversa de pneus inservíveis, especialmente voltada para inserção deste resíduo na cadeia produtiva do asfalto-borracha, é algo ainda emergente. Assim sendo, por se tratar de uma operação ainda inexistente, existe uma carência de dados muito grande, sendo necessário recorrer a uma série de premissas e hipóteses simplificadoras, além de estimativas aproximadas. Contudo, apesar das possíveis contestações quanto ao fato das premissas adotadas serem muito fortes, estas questões adquirem importância secundária, tendo em vista que a finalidade básica da dissertação não é solucionar definitivamente o problema da logística reversa dos pneus.

Ainda assim, o modelo proposto utiliza distâncias rodoviárias reais, o que o difere da maioria dos modelos apresentados na literatura corrente, os quais empregam distâncias euclidianas, simplificando ainda mais o problema. Tal aspecto proporciona mais confiabilidade e eficiência ao modelo, aproximando-o da realidade.

Outro aspecto que merece destaque é a não inclusão da capital Fortaleza no estudo. Esta decisão é perfeitamente justificável pelo fato da cidade gerar uma quantidade extremamente maior de pneus inservíveis que os outros municípios do Ceará, necessitando de uma estrutura logística diferenciada. Entretanto, este fator não diminuiu a grandiosidade do problema, que considerou 183 pontos de oferta e 34 localidades candidatas a receber um ecoponto, totalizando 6.256 variáveis para os 3 primeiros cenários e 12.478 variáveis para o último cenário, com limitação da distância.

Deve-se considerar ainda, que as análises de localização desenvolvidas nesta dissertação foram atreladas a uma base de dados geograficamente referenciada, permitindo armazenar, exibir e manipular dados espacialmente distribuídos. Assim, a utilização de Sistema de Informações Geográficas – SIG torna o trabalho mais consistente e interessante, proporcionando aos planejadores mais acurácia nas decisões.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Embora os modelos tenham respondido adequadamente às condições do escopo do problema apresentado nesta dissertação, existe a possibilidade de aprimorá-los

através da inserção outras restrições de aplicabilidade em trabalhos futuros, além da necessidade contínua de aprofundamento dos assuntos abordados.

Ainda que a estratégia de localização proposta seja apropriada, o sucesso desta depende de um arranjo otimizado, que propicie custos logísticos reduzidos em todo o sistema. Desta forma, antes da instalação dos ecopontos, é interessante a realização de estudos mais abrangentes de localização, que considerem a rede ferroviária existente e a coleta de pneus inservíveis em outros estados.

Uma recomendação importante, como complemento desta dissertação, é o desenvolvimento de estudos de roteamento dos veículos de coleta a partir dos ecopontos, visando reduzir ainda mais os custos de transporte dos pneus inservíveis dispersos no território cearense. Análises de roteamento podem ser realizadas inclusive a nível local, cobrindo a rede revendedora e borracharias. Para tanto, recomenda-se a cidade de Fortaleza como área de estudo.

A produção do asfalto-ecológico é uma prática relativamente nova, em especial se tratando da região Nordeste. A borracha reciclada de pneus possui função semelhante aos polímeros, já usados há mais tempo para melhorar as características de ligantes asfálticos. Por esse motivo, propõe-se um estudo de viabilidade econômica, com o objetivo de avaliar a utilização de borracha reciclada no lugar de polímeros comerciais na modificação de asfaltos.

Em complemento ao estudo anterior, sugere-se o aprofundamento das análises de viabilidade econômica, logística e ambiental para a instalação de ecopontos e da fábrica de reciclagem de pneus no município de Maracanaú. Estas análises devem incluir o detalhamento dos custos para logística reversa de pneus, considerando aspectos essenciais ao funcionamento do sistema, tais como alternativas modais para o transporte, instalações de armazenagem, equipamentos de manuseio, novas tecnologias, manutenção e mão-de-obra necessária.

6.2 CONCLUSÕES

É importante salientar que todas as recomendações sugeridas são complementares a um estudo mais amplo de redução do montante de pneumáticos

inservíveis em todo o território nacional. Neste contexto, esta dissertação tem a intenção de abrir novas possibilidades, sendo apenas o passo inicial na implantação de uma estrutura logística de distribuição reversa dos pneus.

Para a concretização deste sistema, as empresas responsáveis pela logística reversa dos pneus inservíveis devem estar adaptadas às novas tecnologias, utilizando-se de uma estrutura SIG para manipulação de dados e mapas digitais que contemplem os municípios envolvidos, as condições rodoviárias atualizadas e as infra-estruturas de armazenagem e distribuição.

Uma conclusão importante é a necessidade de uma estrutura de custos integrada entre os agentes envolvidos, visando uma análise de viabilidade econômica global. Para isso, é essencial que o governo exerça seu papel, impondo aos fabricantes e importadores a coleta e a destinação final adequada dos pneus, além de criar incentivos fiscais e financiamentos para beneficiar empresas envolvidas com a reciclagem de um produto que, quando descartados de forma inadequada, pode acarretar danos ao meio ambiente.

Por ser um trabalho pioneiro no Ceará e no Nordeste, existem ainda várias lacunas referentes às informações complementares para a abordagem completa da logística de pneus inservíveis até a inserção da borracha na cadeia do asfalto. Estas lacunas podem ser supridas através de uma maior interação entre universidades, empresas produtoras de asfalto e órgãos governamentais.

Embora os estudos de otimização direcionados a logística reversa de pneus sejam recentes, pode-se concluir que este tipo de análise assume grande importância para o planejamento. Desta forma, merecem uma maior atenção por parte das empresas distribuidoras de asfalto, que podem, através de um sistema logístico eficiente, aquecer o mercado de asfalto-ecológico, atendendo toda ou grande parte da demanda por borracha reciclada de pneus.

Finalmente, almeja-se que esta dissertação dê início a novas pesquisas que complementem este estudo de localização de ecopontos, servindo como ponto de partida no processo de intensificação do reaproveitamento de pneumáticos inservíveis através da produção do asfalto-ecológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AERTS, J. e G. HEUVELINK (2002). *Using Simulated Annealing for Resource Allocation*. International Journal of Geographical Information Science, 16;
- AHN, H., S. CHENG, O. CHENG, M. GOLIN e R. OSTRUM (2004). *Competitive Facility Location: The Voronoi Game*. Theoretical Computer science ,122;
- ALBUQUERQUE, R. (2004). *Técnicas de Regeneração de Elastômeros Vulcanizados*. Seminário para Doutorado. Instituto de Macromolécula Professora Eloísa Mano – IMA. UFRJ. Rio de Janeiro;
- ANDRIETTA, A. (2002). *Pneus e o Meio Ambiente: Um grande problema requer uma grande solução*. Disponível em: www.mourapneus.com.br/sobrepneus.html. Acesso em: 21/12/05/2007;
- ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO DO MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - ASCOM/MMA. *UE não poderá mais depositar pneus em aterros e quer exportá-los para o Brasil*. Notícia de 29 de junho de 2006. Disponível em: www.ambientebrasil.com.br/noticias/index.php3?action=lereid=25424. Acesso em: 17/04/2007;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES VOLKSWAGEN – ASSOBRV. Revista Show Room de 11 de julho de 2004. Disponível em: www.assobrav.com.br/revista/revista_lista.asp. Acesso em: 27/04/2007;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS – ABETRE (2007). *Políticas Públicas para Resíduos Industriais - Uma Visão do Setor de Tratamento*. Audiência Pública – CMAGRF – Sendo Federal;
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS – ANIP. Disponível em: www.anip.com.br. Acesso em: 30/03/2007;
- AUTOMOTIVEBUSINESS. *Negócios e relacionamentos* de 2 de abril 2007. Disponível em: www.automotivebusiness.com.br/noticiasabril07.htm. Acesso em: 9/04/2007;
- BARBAROSOGLU, G. e D. OZGUR (1999). *A Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem*. Computers e Operations Research 26;
- BODIN, L., B. GOLDEN, A. ASSAD e M. BALL (1983). *Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art*. Computers and Operations Research, 10;
- BONENTE, L., R. DAVID e E. DAVID (2006). *Transformação de Pneus Inservíveis em Dormente Ferroviário*. Proposta de Pesquisa Tecnológica. Coppe-UFRJ;

- CABRAL M. (2006). *Atratores - Um Point Particular*. Disponível em: www.guarapas.com.br/web/modules/news/print.php?storyid=143. Acesso em: 30/04/2007;
- CALIPER (1996). *Travel Demand Modeling with TransCAD 3.0*. CALIPER Corporation;
- CAPPI, D. (2004). *Recuperação Ambiental de Área Erodidas como Alternativa de Destino Final de Pneus*. Dissertação de Mestrado da Escola Superior de Agricultura da Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP;
- CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS - CNTL (2007). Informativo CNTL Senai de Janeiro de 2007. Ano 6. número 36;
- CHURCH, R. e P. SORENSEN (1994). *Integrating normative location models into GIS: problem and prospects with p-median problem*. Technical Report 94-5. National Center for Geographic Information and Analysis, University of California;
- CIMINO, M. (2004). *Gerenciamento de Pneumáticos Inservíveis: Análise Crítica de Procedimentos Operacionais e Tecnologias para Minimização, Adotados no Território Nacional*. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de São Carlos;
- COMPANHIA FERROVIÁRIA DO NORDESTE – CFN (2005). *CFN está no programa Pernambuco Rodando Limpo*. Disponível em: www.csn.com.br/portal/page?_pageid=595,214886e_dad=portale_schema=PORTAL. Acesso em: 16/05/2007;
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE (2005). *Microcenários setoriais sobre reciclagem no Brasil*. 2ª edição. Disponível em: www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_microcenarios.php. Acesso em: 15/05/2007;
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. *Pesquisa Rodoviária 2007*. Relatório gerencial. Brasília;
- COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – CPLA/ SMA - *Projeto Executivo para Proteção de Recursos Marinhos e Fortalecimento da Atividade Pesqueira*. Disponível em: www.geocities.com/avilabernardes/Proj02.htm. Acesso em: 30/04/2007;
- CP SOLUTIONS (2007). *Pneus velhos ganham destinação correta em Belo Horizonte*. Notícia de 01 de fevereiro de 2007. Disponível em: www.cpsolutions.com.br/modules/news. Acesso em: 04/07/2007;
- CRUZ, F., G. MATEUS e J. SMITH (2003). *A Branch-And-Bound Algorithm to Solve a Multi-Level Network Optimization Problem*. Journal of Mathematical Modeling and Algorithms, 2;

- CURRENT, J., M. DASKIN e D. SCHILLING (2002). *Discrete network location models Facility Location: Applications and Theory*. Z. Dezner e H. W. Hamacher (Eds). Springer-Verlag. Heidelberg;
- DASCI, A., e V. VERTER (2001). *A Continuous Model for Production-Distribution System Design*. European Journal of Operational Research, Vol. 129;
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN (2007). *Registro nacional de acidentes e estatísticas de transito – Renaest/2007*. Disponível em: www.infoseg.gov.br/renaest/detalheNoticia.do?noticia.codigo=120. Acesso em: 04/07/2007;
- DREZNER, T e H. EISELT (2002). *Consumers in Competitive Location Models*. Facility Location: Applications and Theory. Z. Dezner e H. W. Hamacher (Eds). Springer-Verlag. Heidelberg;
- EDEL, G. (2002). *Pneus inservíveis e asfalto: união que beneficia estradas e meio ambiente*. 2º Simpósio Sobre Obras Rodoviárias – RODO;
- FACULDADE DE TECNOLOGIA THEREZA PORTO MARQUES – FAETEC (2005). *Pesquisa Sobre Processos de Utilização de Pneus Inservíveis*;
- FREITAS, P. (2001). *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas, com Aplicações em Arena*. Visual Brooks. Santa Catarina;
- FURTADO J. (1998). *Algoritmo Genético Construtivo na Otimização de Problemas Combinatoriais de Agrupamentos*. Tese de Doutorado em Computação Aplicada. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos;
- GALVÃO, R. (2004). *Uncapacitated facility location problems: Contributions*. Pesquisa Operacional. Volume 24. Rio de Janeiro: SOBRAPO;
- GALVÃO, R., L. ESPEJO e B. BOFFEY (2000). *A Comparison of Lagrangean and Surrogate Relaxations for the Maximal Covering Location Problem*. European Journal of Operational Research, 124;
- GEN, M. e R. CHENG (1997). *Genetic Algorithms e Engineering Design*. Wiley;
- GHOSH, D. (2003). *Neighborhood Search Heuristics for the Uncapacitated Facility Location Problem*. European Journal of Operational Research, 150;
- GOLDBARG, M. e H. LUNA (2005). *Otimização Combinatória e Programação Linear – Modelos e Algoritmos*. Elsevier. Rio de Janeiro;
- GOLDEN, B., T. MAGNANTI e H. NGUYEN (1977). *Implementing Vehicle Routing Algorithms*. Networks 7;
- GOLDENSTEIN, M., M. ALVES e M. BARRIOS (2007). *Complexo Automotivo - Panorama da indústria de pneus no Brasil: Ciclo de investimentos, novos competidores e a questão do descarte de pneus inservíveis*. Departamento de Indústria Pesada da Área Industrial do BNDES;

- GUALDA, N. (1975). *The out-of-kilter algorithm applied to the analysis of alternative limestone transport systems*. Tese de Mestrado da Universidade do Texas;
- HALE, T. e C. MOBERG (2003). *Location Science Research: A Review*. Annals of Operations Research, 123;
- HEALTH PROTECTION AGENCY (2003). *Chemical Hazard and Poisons*. Report 8-Chemical Hazard Report of UK;
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT (2007). *Reciclagem no Brasil*. Pesquisa apresentada em Janeiro de 2007. Disponível em: www.ipt.br/institucional/imprensa/midia/?ID=6596. Acesso em: 05/09/2007;
- JORNAL NACIONAL. *A partir de 2005, no Brasil, todos os pneus inutilizáveis terão que ser reciclados*. Notícia de 19 de maio de 2003. Rede Globo de Televisão. Disponível em: www.riotiete.com.br/partir.htm. Acesso em: 18/04/2007;
- KARASAKAL, O. e E. KARASAKAL (2004). *A Maximal Covering Location Model in the Presence of Partial Coverage*. Computers e Operations Research, 31;
- KENNEDY, D. e M. LUCKS (1999). *Rubber, Blight, and Mosquitoes: Biogeography Meets the Global Economy*. Environmental History. Volume 4;
- KIHARA, Y. (1999). *Impacto da normalização do co-processamento de resíduos em fornos de clínquer*. Anais do V Congresso Brasileiro de Cimento, 5. São Paulo. IGc/USP;
- LACERDA, L. (2003). *Logística Reversa: Uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais*. Artigos Coppead. UFRJ;
- LAPORTE, G. (1992). *The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms*. European Journal of Operational Research, 59;
- LEITE, P. (2003). *Logística Reversa: Meio ambiente e competitividade*. São Paulo: Prentice Hall;
- LOZANO, S., F. GUERRERO, L. ONIEVA e J. LARRAÑETA (1998). *Kohonen Maps for Solving a Class of Location-Allocation Problems*. European Journal of Operational Research, 108;
- MARIANOV, V. e D. SERRA (2002). *Location Problems in the Public Sector*. Facility Location: Applications and Theory, Z. Deznér e H. W. Hamacher (Eds), Springer-Verlag. Heidelberg;
- MORAIS, C. (2002). *Reciclagem de Pneus – Viabilidade de Aplicação de Alternativas para a Utilização de Pneus Usados em Grande Escala*. Dissertação de Mestrado da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo;
- MORILHA, A. (2004) *Estudo Sobre a Ação de Modificadores no Envelhecimento dos Ligantes Asfálticos e nas Propriedades Mecânicas e de Fadiga das Misturas Asfálticas*. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina;

- MORILHA, A. e M. GRECA (2003). *Asfalto Borracha Ecoflex*. Greca Asfaltos;
- NICKEL, S. e J. PUERTO (1999). *A unified approach to network location*. Networks, 34;
- ODA, S. (2003). *Panorama brasileiro da moagem de borracha de pneus e de acessórios de veículos*. Grupo de Tecnologia em Pavimentos;
- ODA, S. (2002). *Reutilização de pneus como alternativa para aumento de vida útil de aterros*. Universidade Estadual de Maringá;
- ODA, S. e J. FERNANDES (2001). *Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação*. Acta Scientiarum. Maringá, v. 23, n. 6;
- ODA, S. (2000). *Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação*; Tese de Doutorado da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo;
- OWEN, S. e M. DASKIN (1998). *Strategic Facility Location: A Review*. European Journal of Operational Research, 111;
- PICCININ, M. e M. FREIESLEBEN (2005). *Um Tratado da Problemática Pneus X Asfalto* Instituto Brasileiro de Produção Sustentável e Direito Ambiental – IBPS. Disponível em: www.ibps.com.br/index.asp?idnoticia=2605. Acesso em: 25/04/2007;
- PINHEIRO, J. (2004). *Incorporação de Borracha de Pneu em Misturas Asfálticas de Diferentes Granulometrias (Processos Úmido e Seco)*. Dissertação do Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará;
- PLANO DIRETOR E OPERACIONAL DO TRANSPORTE INTERMUNICIPAL DE PASSAGEIROS DO ESTADO DO CEARÁ - PDOTIP (2005). *2º Relatório Técnico Caracterização Territorial, Socioeconômica, Institucional, Regulatória e Operacional do STRIP-CE*;
- PLASTIA, F. (2002). *Continuous Covering Location Problems*. Facility Location: Applications and Theory. Z. Drezner e H. W. Hamacher (Eds). Springer- Verlag. Heidelberg;
- PRAÇA, E., E. COUTINHO, B. PRATA e L. ALENCAR (2005). *Localização Otimizada de Plantas de Produção de Biodiesel de Mamona no Estado do Ceará: Um Modelo Baseado em Programação Linear*. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás;
- RESENDE, M. e C. RIBEIRO (2003). *GRASP and Path-Relinking: Recent Advances and Applications*. ATeT Labs Research Technical Report Florham Park. New Jersey;

- REVISTA ECONOMIA e TRANSPORTE (2007). *Transporte de Carga, Frete Empresa, Lotação*. Levantamento apresentado em 30 de julho de 2007. Disponível em: www.economiaetransporte.com.br/tabelas/empresalotacao/empresalotacao.html. Acesso em: 29/08/2007;
- REVISTA PESQUISA (2005). *Borracha na Mureta..* Edição nº109 FAPES São Paulo Disponível em: www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2715&bd=1&pg=2&lg=. Acesso em: 30/07/2007
- Levantamento apresentado em 30 de julho de 2007. Disponível em: www.economiaetransporte.com.br/tabelas/empresalotacao/empresalotacao.html. Acesso em: 29/08/2007;
- ROCHA, B. e H. LOPES (2005). *Aplicação da Simulação Computacional para o Estudo de uma Futura Operação de Transporte Multimodal de Granéis Sólidos através da Hidrovia do Araguaia – Tocantins*. Trabalho de Graduação da Universidade do Estado do Pará;
- SCHILLING, D., K. ROSING e C. REVELLE (2000). *Network Distance Characteristics that Affect Computational Effort in p-Median Location Problems*. European Journal of Operational Research, 127;
- SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR – SECEX. *Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior*. Disponível em: www.desenvolvimento.gov.br/sitio/secex. Acesso em: 21/04/2007;
- SILVA, J. (2004). *Destinação Final de Pneus Inservíveis: Panorama Mundial e Práticas Brasileiras*. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio de Janeiro;
- SIMEÃO F. (2005). *BS Colway: Comprometimento Social*. Disponível em: www.fae.edu/intelligentia/includes/imprimir.asp?lngIdNoticia=15935. Acesso em: 25/04/2007;
- SOUZA, J. e A. NOVAES (2004). *Logística Reversa ou Logística para Canais de Distribuição Reversos Verdades e Mitos*. Panamerican Conference on Traffic and Transportation Engineering. Albany, NY, 2004;
- SOUZA, M., A. MARTINS, T. COSTA, F. GUMARÃES e J. ALVES (2007). *Pesquisa Operacional Aplicada à Mineração*. Notas de aula de Pesquisa Operacional Aplicada à Mineração. Universidade Federal de Ouro Preto;
- SPECHT, L. (2004). *Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus*. Tese Doutorado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre;
- UNIDADE DE CAPACITAÇÃO EMPRESARIAL - UCE (2006). *Usina de Reciclagem de Pneus*. SEBRAE/ES;

VIVEIROS, M. (2003) *Reciclagem de Pneus Supera Meta em 2002*. Jornal Folha de São Paulo. Edição de 24 de fevereiro de 2003. Disponível em: www.ibps.com.br/index.asp?idnoticia=984. Acessado em: 25/05/07;

WAGNER, J. e S. CARABALLO (1997). *Toxic Species Emissions from Controlled combustion of Select Rubber and Plastic Consumer Products*. Polymer Plastic Technology and Engineering;

WHITEOAK, D. (2003). *The Shell Bitumen Handbook*. Shell. 5ª edição.

ANEXOS

ANEXO 1- RESOLUÇÃO CONAMA nº 258/99**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE****CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA)****RESOLUÇÃO Nº 258, DE 26 DE AGOSTO DE 1999**

O CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA, no uso de suas atribuições que lhe são conferidas pela Lei nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento interno, e

Considerando que os pneumáticos inservíveis abandonados ou dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental, que resulta em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública;

Considerando que não há possibilidade de reaproveitamento desses pneumáticos inservíveis para uso veicular e nem para processos de reforma, tais como recapagem, recauchutagem e remoldagem;

Considerando que uma parte dos pneumáticos novos, depois de usados, pode ser utilizada como matéria prima em processos de reciclagem;

Considerando a necessidade de dar destinação final, de forma ambientalmente adequada e segura, aos pneumáticos inservíveis, resolve:

Art. 1º. As empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas.

Parágrafo único. As empresas que realizam processos de reforma ou de destinação final ambientalmente adequada de pneumáticos ficam dispensadas de atender ao disposto neste artigo, exclusivamente no que se refere a utilização dos quantitativos de pneumáticos coletados no território nacional.

Art. 2º. Para os fins do disposto nesta Resolução, considera-se:

I – pneu ou pneumático: todo artefato inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem em veículos;

II – pneu ou pneumático novo: aquele que nunca foi utilizado para rodagem sob qualquer forma, enquadrando-se, para efeito de importação, no código 4011 da Tarifa Externa Comum-TEC;

III – pneu ou pneumático reformado: todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial com o fim específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem, enquadrando-se, para efeitos de importação, no código 4012.10 da Tarifa Externa Comum-TEC;

IV – pneu ou pneumático inservível: aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional.

Art. 3º. Os prazos e quantidades para coleta e destinação final, de forma ambientalmente adequada, dos pneumáticos inservíveis de que trata esta Resolução, são os seguintes:

I – a partir de 1º de janeiro de 2002: para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;

II – a partir de 1º de janeiro de 2003: para cada dois pneus novos fabricados no País ou pneus importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;

III – a partir de 1º de janeiro de 2004:

a) para cada um pneu novo fabricado no País ou pneu novo importado, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;

b) para cada quatro pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis;

Parágrafo único. O disposto neste artigo não se aplica aos pneumáticos exportados ou aos que equipam veículos exportados pelo País.

Art. 4º. No quinto ano de vigência desta Resolução, o CONAMA, após avaliação a ser procedida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, reavaliará as normas e procedimentos estabelecidos nesta Resolução.

Art. 5º. O IBAMA poderá adotar, para efeito de fiscalização e controle, e equivalência em peso dos pneumáticos inservíveis.

Art. 6º. As empresas importadoras deverão, a partir de 1º de janeiro de 2002, comprovar junto ao IBAMA, previamente aos embarques no exterior, a destinação final, de forma ambientalmente adequada, das quantidades de pneus inservíveis estabelecidas no art. 3º desta Resolução, correspondentes às quantidades a serem importadas, para efeitos de liberação de importação junto ao Departamento de operações de Comércio Exterior-DECEX, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

Art. 7º. As empresas fabricantes de pneumáticos deverão, a partir de 1º de janeiro de 2002, comprovar junto ao IBAMA, anualmente, a destinação final, de forma ambientalmente adequada, das quantidades de pneus inservíveis estabelecidas no art. 3º desta Resolução, correspondentes às quantidades fabricadas.

Art. 8º. Os fabricantes e os importadores de pneumáticos poderão efetuar a destinação final, de forma ambientalmente adequada, dos pneus inservíveis de sua responsabilidade, em instalações próprias ou mediante contratação de serviços especializados de terceiros.

Parágrafo único. As instalações para o processamento de pneus inservíveis e a destinação final deverão atender ao disposto na legislação ambiental em vigor, inclusive no que se refere ao licenciamento ambiental.

Art. 9º. A partir da data de publicação desta Resolução fica proibida a destinação final inadequada de pneumáticos inservíveis, tais como a disposição em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagadiços, e queima a céu aberto.

Art. 10. Os fabricantes e os importadores poderão criar centrais de recepção de pneus inservíveis, a serem localizadas e instaladas de acordo com as normas ambientais e demais normas vigentes, para armazenamento temporário e posterior destinação final ambientalmente segura e adequada.

Art. 11. Os distribuidores, os revendedores e os consumidores finais de pneus, em articulação com os fabricantes, importadores e Poder Público, deverão colaborar na adoção de procedimentos, visando implementar a coleta dos pneus inservíveis existentes no País.

Art. 12. O não cumprimento do disposto nesta Resolução implicará sanções estabelecidas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, regulamentada pelo Decreto nº 3.179, de 12 de setembro de 1999.

Art. 13. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

JOSÉ SARNEY FILHO
Presidente do CONAMA

JOSÉ CARLOS CARVALHO
Secretário-Executivo

ANEXO 2- RESOLUÇÃO CONAMA nº 301/02**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE****CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA)****RESOLUÇÃO Nº 301, DE 21 DE MARÇO DE 2002**

Altera dispositivos da Resolução nº 258, de 26 de agosto de 1999, que dispõe sobre Pneumáticos.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe confere a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e

Considerando a necessidade de se alterar a Resolução CONAMA nº 258, de 26 de agosto de 1999, visando sua melhor aplicação, resolve:

Art. 1º. Alterar e incluir os seguintes Considerandos à Resolução CONAMA nº 258, de 26 de agosto de 1999, que passam a vigorar com a seguinte redação:

... Considerando que os pneumáticos novos, depois de usados, podem ser utilizados em processos de reciclagem;

... Considerando que a importação de pneumáticos usados è proibida pelas Resoluções CONAMA nº 23, de 12 de dezembro de 1996 e 235, de 7 de janeiro de 1998;

Considerando que se faz necessário o controle do passivo ambiental gerado pelos pneumáticos usados oriundos de veículos automotores e bicicletas;

Considerando que de acordo coma legislação vigente, compete ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA, o controle, a fiscalização e a edição dos atos normativos pertinentes à Resolução; resolve:

Art. 2º. Alterar os arts. 1º, 2º, 3º, 11 e 12 da Resolução CONAMA nº 258, de 1999, e acrescentar o art. 12-A, que passa a vigorar com a seguinte redação.

Art. 1º. As empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos para uso em veículos automotores e bicicletas ficam obrigadas a coletar e das destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas ...

Art. 2º ...

I – Pneu ou pneumático: todo artefato inflável, constituído por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem em veículos automotores e bicicletas;

...

IV – Pneu ou pneumático inservível: aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional, conforme código 4012.20 da Tarifa Externa Comum-TEC.

Art. 3º. Os prazos e quantidades para coleta e destinação final, de forma ambientalmente adequada, dos pneumáticos inservíveis resultantes de uso em veículos automotores e bicicletas de que trata esta Resolução, são os seguintes:

I – a partir de 1º de janeiro de 2002: para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus importados, novos ou reformados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;

II – a partir de 1º de janeiro de 2003: para cada dois pneus novos fabricados no País ou pneus importados, novos ou reformados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível.

...

Art. 11. Os distribuidores, os revendedores, os reformadores, os consertadores, e os consumidores finais de pneus, em articulação com os fabricantes, importadores e Poder Público, deverão colaborar na adoção de procedimentos, visando implementar a coleta dos pneus inservíveis existentes no País.

Art. 12. O não cumprimento do disposto nesta Resolução implicará nas sanções estabelecidas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e no Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999.

Art. 12-A. As regras desta Resolução aplicar-se-ão também aos pneus usados, de qualquer natureza, que ingressarem em território nacional por força de decisão judicial.

MARINA SILVA
Presidente do CONAMA

Publicada no DOU de 28/08/2003.

ANEXO 3 - LEVANTAMENTO DE DADOS

Cidade	Frota	Estimativa de pneus inservíveis gerados por ano	Índice de conectividade geral	Índice de conectividade com a RMF
Barbalha	4.673	2.486	0,71	0,79
Barreira	1.842	980	0,71	0,81
Barro	1.188	632	0,76	0,87
Barroquinha	411	219	0,71	0,78
Baturité	3.099	1.649	0,72	0,78
Beberibe	3.159	1.681	0,79	0,83
Bela Cruz	2.075	1.104	0,74	0,80
Boa Viagem	6.597	3.510	0,75	0,93
Brejo Santo	5.141	2.735	0,74	0,85
Camocim	4.174	2.221	0,76	0,77
Campos Sales	3.473	1.848	0,79	0,85
Canindé	7.267	3.866	0,76	0,93
Capistrano	988	526	0,75	0,89
Caridade	946	503	0,74	0,93
Cariré	1.323	704	0,74	0,82
Caririaçu	1.687	897	0,68	0,81
Cariús	1.105	588	0,73	0,85
Carnaubal	1.019	542	0,74	0,82
Cascavel	5.213	2.773	0,81	0,92
Catarina	748	398	0,70	0,83
Catunda	558	297	0,73	0,79
Caucaia	22.065	11.739	0,79	1,00
Cedro	2.547	1.355	0,75	0,86
Chaval	350	186	0,70	0,78
Choro	622	331	0,72	0,81
Chorozinho	1.765	939	0,75	1,00
Coreaú	1.451	772	0,74	0,87
Cratêus	11.354	6.040	0,77	0,81
Crato	16.994	9.041	0,74	0,81
Croata	1.069	569	0,74	0,82
Cruz	2.144	1.141	0,75	0,78
Dep. Irapuan Pinheiro	746	397	0,69	0,81
Ererê	126	67	0,73	0,88
Eusébio	5.119	2.723	0,81	1,00
Farias Brito	1.270	676	0,73	0,83
Forquilha	1.856	987	0,74	0,87
Fortaleza	497.967	264.918	0,92	1,00
Fortim	823	438	0,79	0,85
Frecheirinha	1.184	630	0,70	0,87
General Sampaio	331	176	0,72	0,88
Graça	907	483	0,70	0,82
Granja	205	109	0,77	0,80
Granjeiro	80	43	0,70	0,81
Groaíras	1.577	839	0,74	0,82
Guaiúba	887	472	0,71	1,00
Guaraciaba do Norte	4.785	2.546	0,74	0,82
Guaramiranga	460	245	0,71	0,70
Hidrolândia	1.604	853	0,70	0,87
Horizonte	4.580	2.437	0,79	1,00
Ibaretama	730	388	0,71	0,89
Ibiapina	1.868	994	0,74	0,87
Ibicuitinga	669	356	0,72	0,71
Icapuí	1.486	791	0,76	0,81
Icó	6.446	3.429	0,76	0,85
Iguatu	15.739	8.373	0,76	0,87
Independência	3.864	2.056	0,76	0,88
Ipaporanga	1.085	577	0,75	0,79
Ipaumirim	3.974	2.114	0,76	0,85
Ipu	4.703	2.502	0,74	0,87
Ipueiras	3.127	1.664	0,76	0,85
Iracema	1.604	853	0,71	0,89
Irauçuba	1.063	566	0,70	0,92
Itaiçaba	738	393	0,78	0,79
Itaitinga	2.083	1.108	0,75	1,00
Itapagé	4.665	2.482	0,71	0,93
Itapipoca	11.193	5.955	0,66	0,78
Itapiúna	1.031	548	0,72	0,89
Itarema	1.881	1.001	0,74	0,75

Cidade	Frota	Estimativa de pneus inservíveis gerados por ano	Índice de conectividade geral	Índice de conectividade com a RMF
Itatira	936	498	0,60	0,78
Jaguaretama	1.650	878	0,72	0,86
Jaguaribara	1.172	624	0,63	0,76
Jaguaribe	4.326	2.301	0,75	0,85
Jaguaruana	2.979	1.585	0,76	0,80
Jardim	1.720	915	0,72	0,81
Jati	393	209	0,75	0,86
Jijoca de Jericoá	1.385	737	0,72	0,79
Juazeiro do Norte	34.456	18.331	0,70	0,80
Jucás	1.539	819	0,74	0,85
Lavras da Mangabeira	1.583	842	0,72	0,83
Limoeiro do Norte	11.034	5.870	0,79	0,83
Madalena	964	513	0,74	0,92
Maracana	18.663	9.929	0,86	1,00
Maranguape	7.093	3.773	0,79	1,00
Marco	1.959	1.042	0,74	0,81
Martiópolis	373	198	0,75	0,79
Massapê	2.082	1.108	0,78	0,82
Mauriti	1.921	1.022	0,77	0,87
Meruoca	800	426	0,74	0,82
Milagres	1.681	894	0,74	0,85
Milhã	1.504	800	0,67	0,80
Mirafima	593	315	0,68	0,76
Missão Velha	1.902	1.012	0,70	0,81
Mombaça	3.356	1.785	0,75	0,85
Monsenhor Tabosa	1.196	636	0,70	0,81
Morada Nova	6.913	3.678	0,79	0,93
Moraújo	375	200	0,74	0,82
Morrinhos	1.120	596	0,75	0,83
Mucambo	1.366	727	0,74	0,87
Mulungu	515	274	0,69	0,70
Nova Olinda	1.054	561	0,78	0,87
Nova Russas	4.615	2.455	0,74	0,80
Novo Oriente	3.333	1.773	0,76	0,79
Ocara	1.888	1.004	0,74	0,84
Orós	1.332	709	0,73	0,86
Pacajus	6.876	3.658	0,74	1,00
Pacatuba	2.851	1.517	0,79	1,00
Pacoti	885	471	0,71	0,72
Pacujá	658	350	0,70	0,82
Palhano	1.008	536	0,79	0,83
Palmácia	532	283	0,68	0,77
Paracuru	2.073	1.103	0,75	0,76
Paraipaba	2.238	1.191	0,74	0,87
Parambu	3.375	1.796	0,72	0,89
Paramoti	723	385	0,74	0,90
Pedra Branca	3.646	1.940	0,75	0,88
Penaforte	449	239	0,76	0,85
Pentecoste	3.057	1.626	0,74	0,91
Pereiro	2.102	1.118	0,72	0,85
Pindoretama	1.240	660	0,78	0,88
Piquet Carneiro	813	433	0,70	0,83
Pires Ferreira	617	328	0,62	0,82
Poranga	652	347	0,78	0,83
Porteiras	754	401	0,70	0,84
Potengi	573	305	0,75	0,82
Potiretama	410	218	0,68	0,87
Quiterianópolis	1.864	992	0,75	0,83
Quixadá	9.999	5.319	0,77	0,88
Quixelô	1.248	664	0,72	0,88
Quixeramobim	7.309	3.888	0,73	0,88
Quixeré	2.723	1.449	0,75	0,74
Redenção	2.117	1.126	0,74	0,90
Reriutaba	1.820	968	0,74	0,82
Russas	10.174	5.413	0,79	0,89
Saboeiro	858	456	0,75	0,83
Salitre	471	251	0,78	0,86
Santana do Acaraú	2.095	1.115	0,74	0,72
Santana do Cariri	893	475	0,76	0,86
Santa Quitéria	4.568	2.430	0,76	0,83
São Benedito	5.241	2.788	0,74	0,82

Cidade	Frota	Estimativa de pneus inservíveis gerados por ano	Índice de conectividade geral	Índice de conectividade com a RMF
São Gonçalo do Amarante	2.685	1.428	0,75	1,00
São João do Jaguaribe	1.386	737	0,79	0,92
São Luís do Curu	851	453	0,75	0,97
Senador Pompeu	2.555	1.359	0,72	0,84
Senador Sá	359	191	0,74	0,77
Sobral	31.145	16.569	0,78	0,87
Solonópole	1.746	929	0,76	0,88
Tabuleiro do Norte	6.475	3.445	0,79	0,83
Tamboril	2.106	1.120	0,74	0,79
Tarrafas	453	241	0,67	0,83
Tauá	8.353	4.444	0,78	0,93
Tejuçuoca	750	399	0,70	0,85
Tianguá	10.600	5.639	0,74	0,87
Trairi	2.396	1.275	0,73	0,79
Tururu	856	455	0,67	0,79
Ubajara	3.069	1.633	0,74	0,82
Umari	255	136	0,74	0,82
Umirim	907	483	0,74	0,96
Uruburetama	1.304	694	0,71	0,96
Uruoca	717	381	0,72	0,80
Varjota	2.599	1.383	0,74	0,82
Varzea Alegre	3.644	1.939	0,74	0,85
Viçosa do Ceará	3.835	2.040	0,74	0,82
Abaiara	472	251	0,70	0,83
Acaraú	3.579	1.904	0,76	0,78
Acarape	893	475	0,75	0,92
Acopiara	4.207	2.238	0,74	0,81
Aiuaba	748	398	0,78	0,86
Alcântaras	1.040	553	0,78	0,82
Altaneira	469	250	0,76	0,83
Alto Santo	1.334	710	0,74	0,90
Amontada	2.018	1.074	0,72	0,81
Antonina do Norte	537	286	0,78	0,83
Apuiarés	930	495	0,69	0,87
Aquiraz	5.137	2.733	0,79	1,00
Aracati	7.089	3.771	0,78	0,79
Aracoiaba	1.737	924	0,75	0,88
Ararendá	908	483	0,79	0,83
Araripe	1.370	729	0,75	0,82
Aratuba	730	388	0,70	0,71
Arneiroz	610	325	0,76	0,88
Assaré	1.714	912	0,75	0,81
Aurora	1.231	655	0,71	0,81
Baixio	388	206	0,73	0,82
Banabuiú	1.115	593	0,76	0,86

ANEXO 4 - MATRIZ DE DISTÂNCIAS

Cidade	Beberibe	Campos Sales	Cascavel	Caucaia	Cratéis	Eusebio	Fortim	Granja	Horizonte	Itaipaba	Limoeiro do Norte	Maracatu	Maranguape	Massapé	Mauriti	Montada Nova	Nova Olinda
Barbalha	519,7	156,0	500,7	538,2	408,0	527,7	473,7	690,4	485,7	433,7	350,7	529,3	533,6	610,4	70,0	364,7	60,0
Barreira	101,5	492,0	82,5	77,3	353,6	83,5	150,5	376,7	67,5	153,5	173,5	60,1	63,5	296,7	471,2	140,5	500,3
Barro	445,7	230,0	426,7	464,2	391,7	453,7	399,7	674,1	411,7	359,7	276,7	455,3	465,7	594,1	40,0	290,7	134,0
Barroquinha	494,0	637,3	475,0	398,1	351,2	463,6	543,0	61,0	450,6	562,2	523,0	418,5	412,2	141,0	775,1	490,0	730,6
Baturité	119,0	459,8	100,0	94,8	321,1	101,0	168,0	394,2	85,0	171,0	189,0	77,6	81,0	314,2	486,7	156,0	467,8
Beberibe	0,0	535,8	19,0	95,9	397,1	57,4	49,0	433,0	52,0	89,0	182,0	90,0	98,2	353,0	485,7	155,0	543,8
Bela Cruz	323,2	574,0	304,2	227,3	287,9	265,8	372,2	113,9	279,8	412,2	433,8	247,7	252,1	70,2	697,2	400,8	667,3
Boa Viagem	296,6	272,2	277,6	213,4	132,4	239,4	342,2	355,4	251,6	328,2	253,2	212,2	198,6	275,4	358,7	220,2	333,7
Brejo Santo	494,7	218,0	475,7	513,2	440,7	502,7	448,7	723,1	460,7	408,7	325,7	504,3	514,7	643,1	45,0	339,7	122,0
Camocim	460,0	603,3	441,0	364,1	317,2	402,6	509,0	27,0	416,6	528,2	489,0	384,5	378,2	107,0	741,1	456,0	696,6
Campos Sales	535,8	0,0	516,8	485,6	286,1	511,6	514,7	576,3	501,8	474,7	391,7	484,4	470,8	510,9	226,0	405,7	96,0
Canindé	195,2	373,6	176,2	112,0	233,8	138,0	244,2	254,0	150,2	247,2	208,0	110,8	97,2	174,0	460,1	175,0	435,1
Capistrano	136,5	440,6	117,5	112,3	301,9	118,5	185,5	381,8	102,5	188,5	169,8	95,1	98,5	301,8	467,5	136,8	448,6
Caridade	175,4	393,4	156,4	92,2	253,6	118,2	224,4	273,8	130,4	227,4	227,8	91,0	77,4	193,8	479,9	194,8	454,9
Cariré	361,3	452,1	342,3	271,9	166,0	304,1	410,3	124,2	316,3	413,3	374,1	276,9	263,3	58,8	597,7	341,1	545,4
Caririaçu	556,7	173,0	537,7	565,4	425,0	564,7	510,7	707,4	522,7	470,7	387,7	549,7	550,6	627,4	107,0	401,7	77,0
Caririú	415,1	128,7	396,1	418,4	278,0	423,1	394,0	560,4	381,1	354,0	271,0	402,7	403,6	480,4	221,7	285,0	136,7
Carnaubal	396,2	441,3	377,2	313,0	155,2	339,0	445,2	151,2	351,2	448,2	409,0	311,8	298,2	120,7	586,9	376,0	534,6
Cascavel	19,0	516,8	0,0	76,9	378,1	38,4	68,0	414,0	33,0	108,0	169,0	71,0	79,2	334,0	466,7	136,0	524,8
Catarina	395,1	250,7	376,1	398,4	258,0	403,1	439,1	540,4	361,1	416,0	333,0	382,7	383,6	460,4	283,7	308,0	258,7
Catunda	335,2	381,1	316,2	252,0	95,0	278,0	384,2	226,3	290,2	387,2	348,0	250,8	237,2	153,0	526,7	315,0	474,4
Caucaia	95,9	485,6	76,9	0,0	345,8	38,5	144,9	337,1	52,5	184,9	206,5	24,0	28,4	257,1	504,2	173,5	547,1
Cedro	402,0	214,7	383,0	420,5	304,0	410,0	356,0	586,4	368,0	316,0	233,0	411,6	422,0	506,4	148,4	247,0	159,0
Chaval	506,0	649,3	487,0	410,1	363,2	448,6	555,0	73,0	462,6	574,2	535,0	430,5	424,2	153,0	787,1	502,0	742,6
Choró	181,7	395,2	162,7	157,5	255,4	163,7	226,7	325,6	147,7	212,7	137,7	140,3	143,7	245,6	435,4	104,7	416,5
Chorozinho	58,0	477,8	39,0	76,5	339,0	66,0	107,0	391,2	24,0	110,0	130,0	67,6	78,0	311,2	427,7	97,0	485,8
Coreaú	380,0	513,9	361,0	284,1	227,8	322,6	429,0	62,4	336,6	448,2	409,0	304,5	298,2	45,0	659,5	376,0	607,2
Cratéis	397,1	286,1	378,1	345,8	0,0	371,8	441,1	290,2	363,1	427,1	352,1	344,6	331,0	224,8	431,7	319,0	379,4
Crato	524,0	135,0	505,0	527,4	387,0	532,0	478,0	669,4	490,0	438,0	355,0	511,7	512,6	589,4	91,0	369,0	39,0
Croatá	413,2	458,3	394,2	330,0	172,2	356,0	462,2	191,2	368,2	465,2	426,0	328,8	315,2	140,9	603,9	393,0	551,6
Cruz	339,2	590,0	320,2	243,3	303,9	281,8	388,2	97,9	295,8	428,2	449,8	263,7	268,1	86,2	713,2	416,8	683,3
Dep. Irapuan Pinheiro	313,0	326,7	294,0	322,9	209,0	321,0	306,0	491,4	279,0	266,0	191,0	305,7	309,1	411,4	285,7	158,0	334,7
Ererê	296,2	437,9	283,2	320,7	435,2	310,2	247,2	576,2	268,2	207,2	124,2	311,8	322,2	496,2	362,9	147,2	438,2
Eusebio	27,4	511,6	38,4	38,5	371,8	0,0	106,4	375,6	42,0	146,4	196,0	32,6	40,8	295,6	493,7	163,0	551,8
Farias Brito	478,0	179,0	459,0	481,4	341,0	486,0	432,0	623,4	444,0	392,0	309,0	465,7	466,6	543,4	137,0	323,0	83,0
Forquilha	311,0	498,1	292,0	215,1	212,0	253,6	360,0	122,0	267,6	385,2	346,0	235,5	235,2	42,0	598,1	313,0	573,1
Fortim	49,0	514,7	68,0	144,9	441,1	106,4	0,0	482,0	101,0	40,0	133,0	139,0	147,2	402,0	439,7	148,0	515,0
Frecheirinha	386,0	514,6	367,0	290,1	228,5	328,6	435,0	118,6	342,6	454,2	415,0	310,5	304,2	77,0	660,2	382,0	607,9
General Sampaio	222,5	606,5	203,5	126,6	330,0	165,1	271,5	275,0	179,1	311,5	333,1	147,0	151,4	195,0	630,8	300,1	668,0
Graça	401,0	501,0	382,0	305,1	214,9	343,6	450,0	139,4	357,6	469,2	430,0	325,0	319,2	92,0	646,6	397,0	594,3
Granja	433,0	576,3	414,0	337,1	290,2	375,6	482,0	0,0	389,6	501,2	462,0	357,5	351,2	80,0	714,1	429,0	669,6
Granjeiro	452,0	243,0	433,0	470,5	335,0	460,0	406,0	617,4	418,0	366,0	283,0	459,7	460,6	537,4	162,4	297,0	147,0
Groaíras	354,0	511,9	335,0	258,1	225,8	296,6	403,0	125,0	310,6	422,2	383,0	278,5	272,2	45,0	635,1	350,0	605,2
Guaiúba	85,0	490,8	66,0	39,8	351,0	46,0	134,0	371,2	33,0	162,0	182,0	22,6	36,2	291,2	479,7	149,0	508,8
Guaraciaba do Norte	378,2	423,3	359,2	295,0	137,2	321,0	427,2	156,2	333,2	430,2	391,0	293,8	280,2	105,9	568,9	358,0	516,6
Guaramiranga	134,0	474,8	115,0	100,4	336,1	112,8	183,0	385,2	100,0	186,0	204,0	85,6	72,0	305,2	501,7	171,0	482,8
Hidrolândia	327,2	425,3	308,2	244,0	139,2	270,0	376,2	218,3	282,2	379,2	340,0	242,8	229,2	145,0	570,9	307,0	518,6
Horizonte	52,0	501,8	33,0	52,5	363,1	42,0	101,0	389,6	0,0	134,0	154,0	43,6	54,8	309,6	451,7	121,0	509,8
Ibaretama	128,0	407,8	109,0	146,5	269,1	136,0	172,0	379,0	94,0	172,0	137,0	137,6	144,0	299,0	434,7	104,0	415,8
Ibiapina	400,0	458,0	381,0	304,1	171,9	342,6	449,0	121,5	356,6	464,9	425,7	324,5	314,9	91,0	603,6	392,7	551,3
Ibicuitinga	181,0	421,8	162,0	199,5	283,1	189,0	177,0	393,0	147,0	144,0	69,0	183,6	187,0	313,0	366,7	36,0	429,8
Icapuí	119,0	556,7	138,0	214,9	483,1	176,4	70,0	543,2	171,0	82,0	175,0	209,0	217,2	463,2	481,7	190,0	557,0
Icó	352,0	208,7	333,0	370,5	298,0	360,0	306,0	580,4	318,0	266,0	183,0	361,6	372,0	500,4	133,7	197,0	209,0
Iguatu	381,1	154,7	362,1	384,4	244,0	389,1	360,0	526,4	347,1	320,0	237,0	368,7	369,6	446,4	187,7	251,0	162,7
Independência	352,1	260,8	333,1	300,8	45,0	326,8	396,1	335,2	318,1	382,1	307,1	299,6	286,0	269,8	386,7	274,1	354,1
Iporanga	429,4	323,1	410,4	346,2	37,0	372,2	478,1	253,2	384,4	464,1	389,1	345,0	331,4	187,8	468,7	356,1	416,4
Ipaumirim	406,3	263,0	387,3	424,8	352,3	414,3	360,3	634,7	372,3	320,3	237,3	415,9	426,3	554,7	89,4	251,3	183,4
Ipu	369,2	397,3	350,2	286,0	111,2	312,0	418,2	179,0	324,2	421,2	382,0	284,8	271,2	113,6	542,9	349,0	490,6
Ipeiras	379,2	373,3	360,2	296,0	87,2	322,0	428,2	203,0	334,2	431,2	392,0	294,8	281,2	137,6	518,9	359,0	466,6
Iracema	266,2	407,9	253,2	290,7	405,2	280,2	217,2	546,2	238,2	177,2	94,2	281,8	292,2	466,2	332,9	117,2	408,2
Irauçuba	248,7	525,4	229,7	152,8	239,3	191,3	297,7	184,3	205,3	337,7	359,3	173,2	177,6	104,3	625,4	326,3	600,4
Itaipaba	89,0	474,7	108,0	184,9	427,1	146,4	40,0	501,2	134,0	0,0	93,0	177,6	187,2	421,2	399,7	108,0	475,0
Itaitinga	65,0	510,8	46,0	39,5	371,0	29,0	114,0	376,6	13,0	147,0	167,0	30,6	41,8	296,6	464,7	104,0	522,8
Itapagé	222,7	551,4	203,7	126,8	265,3	165,3	271,7	210,3	179,3	311,7	333,3	147,2	151,6	130,3	631,0	300,3	626,4
Itapipoca	228,0	598,8	209,0	132,1	312,7	170,6	277,0	209,1	184,6	317,0	338,6	152,5	156,9	149,4	636,3	305,6	673,5
Itapiúna	136,0	428,8	117,0	111,8	290,1	118,0	185,0	370,0	102,0	188,0	158,0	94,6	98,0	290,0	455,7	125,0	436,8
Itarema	317,8	623,9	298,8	221,9	337,8	260,4	366,8	133,9	274,4	406,8	428,4	242,3	246,7	122,2	726,1	395,4	

Cidade	Boberibe	Campos Sales	Cascavel	Caucaia	Cratéis	Eusebio	Fontim	Granja	Horizonte	Itaipaba	Limoeiro do Norte	Maracanaú	Maranguape	Massapê	Mauriti	Morada Nova	Nova Olinda
Jaguaruana	119,0	268,7	138,0	185,5	421,1	175,0	70,0	500,2	133,0	30,0	87,0	176,6	187,0	420,2	393,7	102,0	469,0
Jardim	556,7	193,0	537,7	575,2	445,0	564,7	510,7	727,4	522,7	470,7	387,7	566,3	570,6	647,4	107,0	401,7	97,0
Jati	518,7	242,0	499,7	537,2	464,7	526,7	472,7	747,1	484,7	432,7	349,7	528,3	538,7	667,1	69,0	363,7	146,0
Jijoca de Jericoá	375,6	626,4	356,6	279,7	340,3	318,2	424,6	61,5	332,2	464,6	486,2	300,1	304,5	122,6	749,6	453,2	719,7
Juazeiro do Norte	529,7	146,0	510,7	538,4	398,0	537,7	483,7	680,4	495,7	443,7	360,7	522,7	523,0	600,4	80,0	374,4	50,0
Jucás	411,1	124,7	392,1	414,4	274,0	419,1	390,0	556,4	377,1	350,0	267,0	398,7	399,6	476,4	217,7	281,0	132,7
Lavras da Mangabeira	411,3	250,7	392,3	429,8	340,0	419,3	365,3	622,4	377,3	325,3	242,3	420,9	431,3	542,4	112,4	256,3	159,0
Limoeiro do Norte	182,0	391,7	169,0	206,5	352,1	196,0	133,0	462,0	154,0	93,0	0,0	197,6	208,0	382,0	316,7	33,0	392,0
Madalena	261,5	307,3	242,5	178,3	167,5	204,3	307,1	320,3	216,5	293,1	218,1	177,1	163,5	240,3	393,8	185,1	368,8
Maracana	90,0	484,4	71,0	24,0	344,6	32,6	139,0	357,5	43,6	177,6	197,6	0,0	13,6	277,5	495,3	164,6	531,4
Maranguape	98,2	470,8	79,2	28,4	331,0	40,8	147,2	351,2	54,8	187,2	208,0	13,6	0,0	271,2	505,7	175,0	532,3
Marco	315,2	566,0	296,2	219,3	279,9	257,8	364,2	121,9	271,8	404,2	425,8	239,7	244,1	62,2	689,2	392,8	659,3
Martiópole	415,0	572,9	396,0	319,1	286,8	357,6	464,0	18,0	371,6	483,2	444,0	339,5	333,2	62,0	696,1	411,0	666,2
Massapê	353,0	510,9	334,0	257,1	224,8	295,6	402,0	80,0	309,6	421,2	382,0	277,5	271,2	0,0	634,1	349,0	604,2
Mauriti	485,7	226,0	466,7	504,2	431,7	493,7	439,7	714,1	451,7	399,7	316,7	495,3	505,7	634,1	0,0	330,7	130,0
Meruoca	358,0	515,9	339,0	262,1	229,8	300,6	407,0	98,4	314,6	426,2	387,0	282,5	276,2	20,0	639,1	354,0	609,2
Milagres	467,7	208,0	448,7	486,2	413,7	475,7	421,7	696,1	433,7	381,7	298,7	477,3	487,7	616,1	18,0	312,7	112,0
Milhã	295,0	308,7	276,0	304,9	191,0	303,0	288,0	473,4	261,0	248,0	173,0	287,7	291,1	393,0	267,7	140,0	316,7
Mirafima	286,0	619,7	267,0	190,1	333,6	228,6	335,0	199,1	242,6	375,0	396,6	210,5	214,9	139,4	694,3	363,6	81,0
Missão Velha	498,7	177,0	479,7	517,2	429,0	506,7	452,7	711,4	464,7	412,7	329,7	508,3	518,7	631,4	49,0	343,7	81,0
Mombaça	293,1	242,7	274,1	296,4	156,0	301,1	337,1	438,4	259,1	314,0	239,0	280,7	281,6	358,4	275,7	206,0	250,7
Monsenhor Tabosa	381,2	399,1	362,2	298,0	113,0	324,0	430,2	272,3	336,2	433,2	394,0	296,8	283,2	199,0	544,7	361,0	492,4
Morada Nova	155,0	405,7	136,0	173,5	319,1	163,0	148,0	429,0	121,0	108,0	33,0	164,6	175,0	349,0	330,7	0,0	406,0
Moraújo	389,0	522,9	370,0	293,1	236,8	331,6	438,0	53,4	345,6	457,2	418,0	313,5	307,2	45,0	668,5	385,0	616,2
Morrinhos	300,8	556,9	281,8	204,9	270,8	243,4	349,8	144,3	257,4	389,8	411,4	225,3	229,7	84,6	668,1	378,4	643,1
Mucambo	379,0	479,0	360,0	283,1	192,9	321,6	428,0	117,4	335,6	447,2	408,0	303,5	297,2	70,0	624,6	375,0	572,3
Mulungu	142,0	482,8	123,0	108,4	344,1	120,8	191,0	393,2	108,0	194,0	212,0	93,6	80,0	313,2	509,7	179,0	490,8
Nova Olinda	543,8	96,0	524,8	547,1	379,4	551,8	515,0	669,6	509,8	475,0	392,0	531,4	532,3	604,2	130,0	406,0	0,0
Nova Russas	378,2	361,1	359,2	295,0	75,0	321,0	427,2	234,0	333,2	430,2	391,0	293,8	280,2	168,6	506,7	358,0	454,4
Novo Oriente	440,1	243,1	421,1	388,8	43,0	414,8	484,1	333,2	406,1	470,1	395,1	387,6	374,0	267,8	463,7	362,1	336,4
Ocara	89,0	456,8	70,0	107,5	318,1	97,0	133,0	422,2	55,0	133,0	153,0	98,6	109,0	342,2	450,7	120,0	464,8
Orós	346,0	215,7	327,0	364,5	294,0	354,0	311,0	576,4	312,0	271,0	188,0	355,6	366,0	496,4	164,7	191,0	216,0
Pacajus	43,0	492,8	24,0	61,5	354,1	51,0	92,0	398,6	9,0	125,0	145,0	52,6	63,8	318,6	442,7	112,0	500,8
Pacatuba	79,0	496,8	60,0	33,8	357,0	40,0	128,0	370,7	27,0	161,0	181,0	16,6	30,2	290,7	478,7	148,0	514,8
Pacoti	141,0	481,8	122,0	93,4	343,1	105,8	190,0	378,2	104,0	193,0	211,0	78,6	65,0	298,2	508,7	178,0	489,8
Pacujá	390,0	490,0	371,0	294,1	203,9	332,6	439,0	128,4	346,6	458,2	419,0	314,5	308,2	81,0	635,6	386,0	583,3
Palhano	138,0	449,7	125,0	162,5	402,1	152,0	89,0	477,2	110,0	49,0	68,0	153,6	164,0	397,2	374,7	83,0	450,0
Palmácia	127,0	475,8	108,0	71,4	336,0	83,8	176,0	356,2	82,0	179,0	199,0	56,6	43,0	276,2	496,7	166,0	511,8
Paraçuera	170,0	559,7	151,0	81,7	356,1	112,6	219,0	301,1	126,6	259,0	280,6	98,1	102,5	221,1	578,3	247,6	621,2
Paraipaba	174,1	563,8	155,1	85,8	340,1	116,7	223,1	285,1	130,7	263,1	284,7	102,2	106,6	205,1	582,4	251,7	625,3
Parambu	451,2	177,0	432,2	400,6	201,1	426,6	495,2	491,3	417,2	472,1	397,1	399,4	385,8	425,9	400,3	364,1	270,3
Paramoti	179,1	415,5	160,1	95,9	275,7	121,9	228,1	295,9	134,1	231,1	249,9	94,7	81,1	215,9	502,0	216,9	477,0
Pedra Branca	284,1	252,8	265,1	253,4	113,0	279,4	328,1	395,4	250,1	314,1	239,1	252,2	238,6	315,4	318,7	206,1	293,7
Penaforte	538,7	262,0	519,7	557,2	484,7	546,7	492,7	767,1	504,7	452,7	369,7	548,3	558,7	687,1	89,0	383,7	166,0
Pentecoste	183,8	567,8	164,8	87,9	315,5	126,4	232,8	260,5	140,4	272,8	294,4	108,3	112,7	180,5	592,1	261,4	629,3
Pereiro	322,0	292,7	303,0	340,5	333,0	330,0	276,0	596,0	288,0	236,0	153,0	331,6	342,0	516,0	217,7	167,0	293,0
Pindoretama	34,0	531,8	15,0	61,9	393,1	23,4	83,0	399,0	48,0	123,0	184,0	56,0	64,2	319,0	481,7	151,0	539,8
Piquet Carneiro	329,1	242,7	310,1	332,4	192,0	337,1	373,1	474,4	295,1	350,0	275,0	316,7	317,6	394,4	275,7	242,0	250,7
Pires Ferreira	361,2	416,0	342,2	278,0	129,9	304,0	410,2	166,3	316,2	431,2	374,0	276,8	263,2	100,9	561,6	341,0	509,3
Poranga	422,2	356,3	403,2	339,0	70,2	365,0	471,2	246,0	377,2	474,2	422,3	337,8	324,2	180,6	501,9	389,3	449,6
Porteiras	514,7	238,0	495,7	533,2	460,7	522,7	468,7	743,1	480,7	428,7	345,7	524,3	534,7	663,1	65,0	359,7	142,0
Potengi	527,8	54,0	518,8	539,6	340,1	545,8	516,7	630,3	503,8	476,7	393,7	525,4	524,8	564,9	172,0	407,7	42,0
Potiretama	264,1	405,8	251,1	288,6	403,6	278,1	215,1	544,1	236,1	175,1	92,1	279,7	290,1	464,1	330,8	115,1	406,1
Quixeránópolis	457,1	219,1	438,1	406,5	87,0	432,5	501,1	377,2	423,1	478,0	403,0	405,3	391,7	311,8	439,7	370,0	312,4
Quixadá	155,0	380,8	136,0	159,8	242,1	163,0	199,0	352,0	121,0	185,0	110,0	142,6	146,0	272,0	407,7	77,0	388,8
Quixeló	389,1	178,7	370,1	392,4	252,0	397,1	384,0	534,4	355,1	344,0	261,0	376,7	377,6	454,4	211,7	275,0	186,7
Quixeramobim	203,1	332,7	184,1	207,9	194,0	211,1	247,1	380,3	169,1	233,1	158,1	190,7	194,1	300,3	364,7	125,1	340,7
Quixeré	200,0	409,7	187,0	224,5	310,1	214,0	151,0	480,0	172,0	111,0	18,0	215,6	226,0	400,0	334,7	51,0	410,0
Redenção	89,0	475,8	70,0	64,8	337,1	71,0	138,0	364,2	55,0	141,0	161,0	47,6	51,0	284,2	458,7	128,0	483,8
Reriutaba	353,2	434,0	334,2	270,0	147,9	296,0	402,2	146,3	308,2	405,2	366,0	268,8	255,2	80,9	579,6	333,0	527,3
Russas	144,0	419,7	135,0	172,5	372,1	162,0	95,0	482,0	120,0	55,0	38,0	163,6	174,0	402,0	344,7	53,0	420,0
Saboeiro	459,8	92,0	440,8	463,1	279,4	467,8	438,7	569,6	425,8	398,7	315,7	447,4	448,3	504,2	230,0	329,7	100,0
Salitre	562,8	27,0	543,8	512,6	313,1	538,6	541,7	603,3	528,8	501,7	418,7	511,4	497,8	537,9	253,0	432,7	123,0
Santana do Acaraú	329,8	527,9	310,8	233,9	241,8	272,4	378,8	141,0	286,4	418,8	387,0	254,3	258,7	61,0	639,1	354,0	614,1
Santana do Cariri	556,8	109,0	537,8	560,1	392,4	564,8	528,0	682,6	522,8	488,0	405,0	544,4	545,3	617,2	143,0	419,0	13,0
Santa Quitéria	297,2	419,1	278,2	214,0	133,0	240,0	356,2	188,3	252,2	349,2	310,0	212,8	199,2	115,0	562,1	277,0	512,4
São Benedito	399,8	444,9	380,8	316,6	158,8	342,6	448,8	134,6	354,8	451,8	412,6	315,4	301,8	104,1	590,5	379,6	538,2
São Gonçalo do Amarante																	

Cidade	Beberibe	Campos Sales	Cascavel	Caucaia	Cratéis	Eusébio	Fontim	Granja	Horizonte	Itaipaba	Limoeiro do Norte	Maracanaú	Maranguape	Massapé	Mauriti	Morada Nova	Nova Olinda
Tauá	387,1	149,1	368,1	336,5	137,0	362,5	431,1	427,2	353,1	408,0	333,0	335,3	321,7	361,8	369,7	300,0	242,4
Tejuçuoca	240,4	597,7	221,4	144,5	311,6	183,0	289,4	256,6	197,0	329,4	351,0	164,9	169,3	176,6	648,7	318,0	672,7
Tianguá	416,5	484,1	397,5	320,6	198,0	359,1	465,5	95,4	373,1	484,7	445,5	341,0	334,7	89,7	629,7	412,5	577,4
Trairi	205,6	595,3	186,6	117,3	351,3	148,2	254,6	269,6	162,2	294,6	316,2	133,7	138,1	209,9	613,9	283,2	656,8
Turuçu	205,6	576,4	186,6	109,7	290,3	148,2	254,6	231,5	162,2	294,6	316,2	130,1	134,5	155,3	613,9	283,2	651,1
Ubajara	410,0	468,0	391,0	314,1	181,9	352,6	459,0	111,5	366,6	474,9	435,7	334,5	324,9	101,0	613,6	402,7	561,3
Umari	396,7	253,4	377,7	415,2	342,7	404,7	350,7	625,1	362,7	310,7	227,7	406,3	416,7	545,1	110,4	241,7	204,4
Umirim	190,2	574,2	171,2	94,3	297,8	132,8	239,2	242,8	146,8	279,2	300,8	114,7	119,1	162,8	598,5	267,8	635,7
Uruburetama	208,0	568,4	189,0	112,1	282,3	150,6	257,0	227,3	164,6	297,0	318,6	132,5	136,9	147,3	616,3	285,6	643,4
Uruoca	391,0	548,9	372,0	295,1	262,8	333,6	440,0	42,0	347,6	459,2	420,0	315,5	309,2	38,0	672,1	387,0	642,2
Varjota	340,2	431,0	321,2	257,0	144,9	283,0	389,2	145,3	295,2	392,2	353,0	255,8	242,2	79,9	576,6	320,0	524,3
Varzea Alegre	443,0	214,0	424,0	446,4	306,0	451,0	397,0	588,4	409,0	357,0	274,0	430,7	431,6	508,4	153,4	288,0	118,0
Viçosa do Ceará	446,5	514,1	427,5	350,6	228,0	389,1	495,5	65,4	403,1	514,7	475,5	371,0	364,7	119,7	569,7	442,5	607,0
Abaiara	492,7	201,0	473,7	511,2	438,7	500,7	446,7	721,1	458,7	406,7	323,7	502,3	512,7	641,1	43,0	337,7	105,0
Acaraú	335,8	599,9	316,8	239,9	313,8	278,4	384,8	107,9	292,4	424,8	446,4	260,3	264,7	96,2	711,1	413,4	686,1
Acarape	87,0	477,8	68,0	62,8	339,1	69,0	136,0	362,2	53,0	139,0	159,0	46,6	49,0	282,2	456,7	126,0	485,8
Acopiara	342,1	193,7	323,1	345,4	205,0	350,1	386,1	487,4	308,1	359,0	276,0	329,7	330,6	407,4	226,7	126,0	201,7
Aiuaba	489,1	92,0	470,1	449,6	250,1	475,6	468,0	540,3	455,1	428,0	345,0	448,4	434,8	474,9	259,3	359,0	129,3
Alcântaras	366,0	523,9	347,0	270,1	237,8	308,6	415,0	76,4	322,6	434,2	395,0	290,5	284,2	42,0	647,1	362,0	617,2
Altaneira	556,8	109,0	537,8	560,1	392,4	564,8	528,0	682,6	522,8	488,0	405,0	544,4	545,3	617,2	143,0	419,0	13,0
Alto Santo	229,0	370,7	216,0	253,5	368,0	243,0	180,0	509,0	201,0	140,0	57,0	244,6	255,0	429,0	295,7	80,0	371,0
Amontada	261,0	596,7	242,0	165,1	310,6	203,6	310,0	176,1	217,6	350,0	371,6	185,5	189,9	116,4	669,3	338,6	682,9
Antonina do Norte	478,8	57,0	459,8	482,1	314,4	486,8	457,7	604,6	444,8	417,7	334,7	466,4	467,3	539,2	195,0	387,0	65,0
Apuiarés	208,8	592,8	189,8	112,9	340,5	151,4	257,8	285,5	165,4	297,8	319,4	133,3	137,7	205,5	617,1	286,4	654,3
Aquiraz	51,0	518,0	32,0	44,9	378,2	6,4	100,0	382,0	48,4	140,0	201,0	39,0	47,2	302,0	498,7	168,0	556,8
Aracati	65,0	502,7	84,0	160,9	429,1	122,4	16,0	489,2	117,0	28,0	121,0	155,0	163,2	409,2	427,7	136,0	503,0
Aracoiaba	109,0	455,8	90,0	84,8	317,1	91,0	158,0	384,2	75,0	161,0	181,0	67,6	71,0	304,2	478,7	148,0	463,8
Ararendá	409,2	343,3	390,2	326,0	57,2	352,0	458,2	233,0	364,2	461,2	409,3	324,8	311,2	167,6	488,9	376,3	436,6
Araripe	558,8	33,0	539,8	518,6	319,1	544,6	537,7	609,3	524,8	497,7	414,7	517,4	503,8	543,9	193,0	428,7	63,0
Aratuba	160,0	500,8	141,0	126,4	362,1	138,8	209,0	411,2	126,0	212,0	230,0	111,6	98,0	331,2	527,7	197,0	508,8
Arneiroz	432,1	194,1	413,1	381,5	182,0	407,5	476,1	472,2	398,1	453,0	378,0	380,3	366,7	406,8	414,7	345,0	287,4
Assaré	498,8	77,0	479,8	502,1	334,4	506,8	477,7	624,6	464,8	437,7	354,7	486,4	487,3	559,2	175,0	368,7	45,0
Aurora	454,7	273,0	435,7	473,2	400,7	462,7	408,7	683,1	420,7	368,7	285,7	464,3	474,7	603,1	83,0	299,7	177,0
Baixio	408,7	265,4	389,7	427,2	354,7	416,7	362,7	637,1	374,7	322,7	239,7	418,3	428,7	557,1	98,4	253,7	192,4
Banabuiú	211,3	406,7	192,3	216,1	268,0	219,3	255,3	408,3	177,3	241,3	166,3	198,9	202,3	328,3	438,7	133,3	414,7

Cidade	Pacatuba	Palhano	Pindoretama	Poranga	Quixadá	Russas	Salitre	S.J. do Jaguaribe	Sobral	Tabuleiro do Norte	Tauá	Aiuaba	Alcântaras	Antonina do Norte	Aquiraz	Aracati	Ararendá
Barbalha	512,7	408,7	515,7	478,2	390,1	378,7	183,0	343,7	588,4	334,7	302,4	189,3	623,4	125,0	532,7	461,7	465,2
Barreira	43,5	129,5	97,5	349,7	111,5	139,5	519,3	192,5	274,7	188,5	343,6	445,6	309,7	435,3	89,9	141,5	336,7
Barro	438,7	334,7	441,7	461,9	367,7	304,7	257,0	269,7	572,1	260,7	329,7	255,7	607,1	199,0	458,7	387,7	448,9
Barroquinha	431,7	538,2	460,0	307,0	413,0	543,0	664,3	542,0	163,0	538,0	488,2	601,3	137,4	665,6	443,0	550,2	294,0
Baturité	61,0	147,0	115,0	367,2	79,0	157,0	486,8	208,0	292,2	204,0	311,1	413,1	327,2	402,8	107,4	159,0	354,2
Beberibe	79,0	138,0	34,0	422,2	155,0	144,0	562,8	201,0	331,0	197,0	387,1	489,1	366,0	478,8	51,0	65,0	409,2
Bela Cruz	260,9	389,8	289,2	243,7	335,1	399,8	601,0	452,8	85,1	448,8	424,9	538,0	112,2	602,3	272,2	388,2	230,7
Boa Viagem	224,6	303,2	262,8	202,6	143,2	273,2	299,2	272,2	253,4	268,2	123,1	236,2	288,4	268,7	245,8	330,2	189,6
Brejo Santo	487,7	383,7	490,7	510,9	416,7	353,7	245,0	318,7	621,1	309,7	364,4	251,3	656,1	187,0	507,7	436,7	497,9
Camocim	397,7	504,2	426,0	273,0	379,0	509,0	630,3	508,0	129,0	504,0	454,2	567,3	103,4	631,6	409,0	516,2	260,0
Campos Sales	496,8	449,7	531,8	356,3	380,8	419,7	27,0	384,7	488,9	375,7	149,1	92,0	523,9	57,0	518,0	502,7	343,3
Canindé	123,2	223,2	161,4	227,0	98,0	228,0	400,6	227,0	152,0	223,0	224,5	337,6	187,0	370,1	144,4	235,2	214,0
Capistrano	78,5	164,5	132,5	354,8	59,8	174,5	467,6	188,8	279,8	184,8	291,9	393,9	314,8	383,6	124,9	176,5	341,8
Caridade	103,4	203,4	141,6	246,8	117,8	213,4	420,4	246,8	171,8	242,8	244,3	357,4	206,8	389,9	124,6	215,4	233,8
Carié	289,3	389,3	327,5	121,8	264,1	394,1	479,1	393,1	36,8	389,1	303,0	416,1	71,8	480,4	310,5	401,3	108,8
Cariariçu	533,1	445,7	552,7	495,2	407,1	415,7	200,0	380,7	605,4	371,7	319,4	206,3	640,4	142,0	569,7	498,7	482,2
Cariús	386,1	329,0	411,1	348,2	260,1	299,0	155,7	264,0	458,4	255,0	195,1	82,0	493,4	71,7	428,1	382,0	335,2
Carnaubal	324,2	424,2	362,4	111,0	299,0	429,0	468,3	428,0	98,7	424,0	292,2	405,3	114,5	469,6	345,4	436,2	98,0
Cascavel	60,0	125,0	15,0	403,2	136,0	135,0	543,8	188,0	312,0	184,0	368,1	470,1	347,0	459,8	32,0	84,0	390,2
Catarina	366,1	391,0	391,1	328,2	240,1	361,0	277,7	326,0	438,4	317,0	196,0	204,0	473,4	193,7	408,1	427,1	315,2
Catunda	263,2	363,2	301,4	88,0	238,0	368,0	408,1	367,0	131,0	363,0	232,0	345,1	166,0	409,4	284,4	375,2	75,0
Caucaia	33,8	162,5	61,9	339,0	159,8	172,5	512,6	225,5	235,1	221,5	336,5	449,6	270,1	482,1	44,9	160,9	326,0
Cedro	395,0	291,0	398,0	374,2	286,1	261,0	241,7	226,0	484,4	217,0	242,0	168,0	519,4	157,7	415,0	344,0	361,2
Chaval	443,7	550,2	472,0	319,0	425,0	555,0	676,3	554,0	175,0	550,0	500,2	613,3	149,4	677,6	455,0	562,2	306,0
Choró	123,7	187,7	177,7	298,6	27,7	157,7	422,2	156,7	223,6	152,7	246,1	359,2	258,6	351,5	170,1	214,7	285,6
Chorozinho	51,0	86,0	54,0	364,2	97,0	96,0	504,8	149,0	289,2	145,0	329,1	431,1	324,2	420,8	71,0	98,0	351,2
Coraéti	317,7	424,2	346,0	183,6	299,0	429,0	540,9	428,0	49,0	424,0	364,8	477,9	14,0	542,2	329,0	436,2	170,6
Cratéis	357,0	402,1	393,1	70,2	242,1	372,1	313,1	371,1	202,8	367,1	137,0	250,1	237,8	314,4	378,2	429,1	57,2
Crato	495,1	413,0	520,0	457,2	369,1	383,0	162,0	348,0	567,4	339,0	281,4	168,3	602,4	104,0	537,0	466,0	444,2
Croatá	341,2	441,2	379,4	128,0	316,0	446,0	485,3	445,0	118,9	441,0	309,2	422,3	153,9	486,6	362,4	453,2	115,0
Cruz	276,9	405,8	305,2	259,7	351,1	415,8	617,0	468,8	101,1	464,8	440,9	554,0	1				

Cidade	Pacatuba	Palhano	Pindoretama	Poranga	Quixadá	Russas	Salitre	S.J. do Jaguaribe	Sobral	Tabuleiro do Norte	Tandá	Atuaba	Alcântaras	Antonina do Norte	Aquiraz	Araçati	Araendá
Forquilha	248,7	361,2	277,0	178,6	236,0	366,0	525,1	365,0	20,0	361,0	349,0	462,1	55,0	508,1	260,0	373,2	165,6
Fortim	128,0	89,0	83,0	417,2	199,0	95,0	541,7	152,0	380,0	148,0	431,1	468,0	415,0	457,7	100,0	16,0	458,2
Frecheirinha	323,7	430,2	352,0	184,3	305,0	435,0	541,6	434,0	55,0	430,0	365,5	478,6	70,2	542,9	335,0	442,2	171,3
General Sampaio	160,2	289,0	188,5	322,0	286,2	299,1	633,5	352,1	173,0	348,1	457,4	570,5	208,0	603,0	171,5	285,5	309,0
Graça	338,7	445,2	367,0	170,7	320,0	450,0	528,0	449,0	70,0	445,0	351,9	465,0	91,0	529,3	350,0	457,2	157,7
Granja	370,7	477,2	399,0	246,0	352,0	482,0	603,3	481,0	102,0	477,0	427,2	540,3	76,4	604,6	382,0	489,2	233,0
Granjeiro	443,1	341,0	448,0	405,2	317,1	311,0	270,0	276,0	515,4	267,0	273,0	199,0	55,7	188,7	465,0	394,0	392,2
Groaíras	291,7	398,2	320,0	181,6	273,0	403,0	538,9	402,0	23,0	398,0	362,8	475,9	58,0	540,2	303,0	410,2	168,6
Guaiúba	6,0	138,0	69,4	344,2	120,0	148,0	517,8	201,0	269,2	197,0	341,7	454,1	304,2	443,8	52,4	150,0	331,2
Guaraciaba do Norte	306,2	406,2	344,4	93,0	281,0	411,0	450,3	410,0	83,9	406,0	274,2	387,3	118,9	451,6	327,4	418,2	80,0
Guaramiranga	76,0	162,0	130,0	358,2	94,0	172,0	501,8	223,0	283,2	219,0	326,1	428,1	318,2	417,8	119,2	174,0	345,2
Hidrolândia	255,2	355,2	293,4	95,0	230,0	360,0	452,3	359,0	123,0	355,0	276,2	389,3	158,0	453,6	276,4	367,2	82,0
Horizonte	27,0	110,0	48,0	377,2	121,0	120,0	528,8	173,0	287,6	169,0	353,1	455,1	322,6	444,8	48,4	117,0	364,2
Ibaretama	121,0	148,0	124,0	339,3	27,0	157,0	434,8	156,0	277,0	152,0	259,1	361,1	312,0	350,8	141,0	160,0	326,3
Ibiapina	337,0	440,9	366,0	127,7	315,7	445,7	485,0	444,7	69,0	440,7	308,9	422,0	84,8	486,3	349,0	452,9	114,7
Ibicuitinga	167,0	119,0	177,0	353,3	41,0	89,0	448,8	88,0	291,0	84,0	273,1	375,1	326,0	364,8	194,0	165,0	340,3
Icapuí	198,0	131,0	153,0	516,2	241,0	137,0	583,7	194,0	441,2	190,0	473,1	510,0	476,2	499,7	170,0	58,0	503,2
Icó	345,0	241,0	348,0	368,2	274,0	211,0	235,7	176,0	478,4	167,0	236,0	162,0	513,4	151,7	365,0	294,0	355,2
Iguatu	352,1	295,0	377,1	314,2	226,1	365,0	181,7	230,0	424,4	221,0	182,0	108,0	459,4	97,7	394,1	348,0	301,2
Independência	312,0	357,1	348,1	115,2	197,1	327,1	287,8	326,1	247,8	322,1	11,7	224,8	282,8	289,1	333,2	384,1	102,2
Ipaporanga	357,4	439,1	395,6	33,2	279,1	409,1	350,1	408,1	165,8	404,1	174,0	287,1	200,8	351,4	378,6	466,1	20,2
Ipamirim	399,3	295,3	402,3	422,5	328,3	265,3	290,0	230,3	532,7	221,3	290,3	216,3	567,7	206,0	419,3	348,3	409,5
Ipu	297,2	397,2	335,4	67,0	272,0	402,0	424,3	401,0	91,6	397,0	248,2	361,3	126,6	425,6	318,4	409,2	54,0
Ipueiras	307,2	407,2	345,4	43,0	282,0	412,0	400,3	411,0	115,6	407,0	224,2	337,3	150,6	401,6	328,4	419,2	30,0
Iracema	265,2	152,2	268,2	475,4	194,2	122,2	434,9	87,2	444,2	78,2	374,2	361,2	479,2	350,9	285,2	205,2	462,4
Irauçuba	186,4	315,3	214,7	231,3	263,3	325,3	552,4	378,3	82,3	374,3	376,3	489,4	117,3	535,4	197,0	137,0	218,3
Itaipaba	161,0	49,0	123,0	474,2	185,0	55,0	501,7	112,0	399,2	108,0	408,0	428,0	434,2	417,7	140,0	28,0	461,2
Itaitinga	14,0	123,0	52,4	364,2	134,0	133,0	537,8	186,0	274,6	182,0	361,7	468,1	306,6	457,8	35,4	130,0	351,2
Itapagé	160,4	289,3	188,7	257,3	286,4	299,3	578,4	352,3	108,3	348,3	402,3	515,4	143,3	561,4	171,7	287,7	244,3
Itapipoca	165,7	294,6	194,0	299,4	291,7	304,6	625,8	357,6	140,8	353,6	449,7	562,8	175,8	608,5	177,0	293,0	286,4
Itaipúna	78,0	164,0	132,0	343,0	48,0	174,0	455,8	177,0	268,0	173,0	280,1	382,1	303,0	371,8	124,4	176,0	330,0
Itarema	255,5	384,4	283,8	293,6	373,0	394,4	650,9	447,4	135,0	443,4	474,8	587,9	164,2	645,1	266,8	382,8	280,6
Itatira	219,8	304,6	258,0	297,4	144,6	274,6	394,0	273,6	248,6	269,6	217,9	331,0	283,6	363,5	241,0	331,6	284,4
Jaguaretama	226,0	161,0	229,0	323,2	155,0	131,0	355,7	129,0	405,0	120,0	222,0	282,0	440,0	271,7	246,0	214,0	310,2
Jaguaribara	272,0	168,0	275,0	404,2	201,0	138,0	340,7	103,0	451,0	94,0	303,0	267,0	486,0	256,7	292,0	221,0	391,2
Jaguaribe	278,0	174,0	281,0	366,2	207,0	144,0	302,7	109,0	457,0	100,0	265,0	229,0	492,0	218,7	298,0	227,0	353,2
Jaguaruana	160,0	43,0	153,0	473,2	179,0	49,0	495,7	106,0	398,2	102,0	402,0	422,0	433,2	411,7	170,0	58,0	460,2
Jardim	549,7	445,7	552,7	515,2	427,1	415,7	220,0	380,7	625,4	371,7	339,4	226,3	660,4	162,0	569,7	498,7	502,2
Jati	511,7	407,7	514,7	534,9	440,7	377,7	269,0	342,7	645,1	333,7	388,4	275,3	680,1	211,0	531,7	460,7	521,9
Jijoca de Jericoá	313,3	442,2	341,6	296,1	387,5	452,2	653,4	505,2	137,5	501,2	477,3	590,4	137,9	654,7	324,6	440,6	283,1
Juazeiro do Norte	506,1	418,7	525,7	468,2	380,1	388,7	173,0	353,7	578,4	344,7	292,4	179,3	613,4	115,0	542,7	471,7	455,2
Jucás	382,1	325,0	407,1	344,2	256,1	295,0	151,7	260,0	454,4	251,0	191,1	78,0	489,4	67,7	424,1	378,0	331,2
Lavras da Mangabeira	404,3	300,3	407,3	410,2	322,1	270,3	277,7	235,3	520,4	226,3	278,0	204,0	555,4	193,7	424,3	353,3	397,2
Limoeiro do Norte	181,0	68,0	184,0	422,3	110,0	38,0	418,7	29,0	360,0	25,0	333,0	345,0	395,0	334,7	201,0	121,0	409,3
Madalena	189,5	268,1	227,7	237,7	108,1	238,1	334,3	237,1	218,3	233,1	158,2	271,3	253,3	303,8	210,7	295,1	224,7
Maracana	16,6	153,6	56,0	337,8	142,6	163,6	511,4	216,6	255,5	212,6	335,3	448,4	290,5	466,4	39,0	155,0	324,8
Maranguape	30,2	164,0	64,2	324,2	146,0	174,0	497,8	227,0	249,2	223,0	321,7	434,8	284,2	467,3	47,2	163,2	311,2
Marco	252,9	381,8	281,2	235,7	327,1	391,8	593,0	444,8	77,1	440,8	416,9	530,0	104,2	594,3	264,2	380,2	222,7
Martíópole	352,7	459,2	381,0	242,6	334,0	464,0	599,9	463,0	84,0	459,0	423,8	536,9	94,4	601,2	364,0	471,2	229,6
Massapê	290,7	397,2	319,0	180,6	272,0	402,0	537,9	401,0	22,0	397,0	361,8	474,9	42,0	539,2	302,0	409,2	167,6
Mauriti	478,7	374,7	481,7	501,9	407,7	344,7	253,0	309,7	612,1	300,7	369,7	259,3	647,1	195,0	498,7	427,7	488,9
Meruoca	295,7	402,2	324,0	185,6	277,0	407,0	542,9	406,0	27,0	402,0	366,8	479,9	22,0	544,2	307,0	414,2	172,6
Milagres	460,7	356,7	463,7	483,9	389,7	326,7	235,0	291,7	594,1	282,7	351,7	241,3	629,1	177,0	480,7	409,7	470,9
Mirãna	271,1	223,0	291,0	261,2	145,1	193,0	335,7	191,0	371,4	182,0	160,0	262,0	406,4	251,7	308,0	276,0	248,2
Mirãma	223,7	352,6	252,0	289,4	349,7	362,6	646,7	415,6	130,8	411,6	470,6	583,7	165,8	640,9	235,0	351,0	276,4
Missão Velha	491,7	387,7	494,7	499,2	411,1	357,7	204,0	322,7	609,4	313,7	323,4	210,3	644,4	146,0	511,7	440,7	486,2
Mombaca	264,1	289,0	289,1	226,2	138,1	259,0	269,7	257,0	336,4	248,0	94,0	196,0	371,4	185,7	306,1	325,1	213,2
Monsenhor Tabosa	309,2	409,2	347,4	106,0	284,0	414,0	426,1	413,0	177,0	409,0	250,0	363,1	212,0	427,4	330,4	421,2	93,0
Morada Nova	148,0	83,0	151,0	389,2	77,0	53,0	432,7	52,0	327,0	48,0	300,0	359,0	362,0	348,7	168,0	136,0	376,3
Moraújo	326,7	433,2	355,0	192,6	308,0	438,0	549,9	437,0	58,0	433,0	373,8	486,9	23,0	551,2	338,0	445,2	179,6
Morrinhos	238,5	367,4	266,8	226,6	306,0	377,4	583,9	430,4	68,0	426,4	407,8	520,9	103,0	578,1	249,8	365,8	213,6
Mucambo	316,7	423,2	345,0	148,7	298,0	428,0	506,0	427,0	48,0	423,0	329,9	443,0	69,0	507,3	328,0	435,2	135,7
Mulungu	84,0	170,0	138,0	366,2	102,0	180,0	509,8	231,0	291,2	227,0	334,1	436,1	326,2	425,8	127,2	182,0	353,2
Nova Olinda	514,8	450,0	539,8	449,6	388,8	420,0	123,0	385,0	582,2	376,0	242,4	129,3	617,2	65,0	556,8	503,0	436,6
Nova Russas	306,2	406,2	344,4	45,0	281,0	411,0	388,1	410,0	146,6	406,0	212,0	325,1	181,6	389,4	327,4	418,2	32,0
Novo Oriente	400,0	445,1	436,1	113,2	285,1	415,1	270,1	414,1	245,8	410,1	94,0	207,1	280,8	271,4	421,2	472,1	100,2
Ocara	82,0	109,0	85,0	388,3	76,0	119,0	483,8	172,0	320,2	168,0	308,1	410,1	355,2	399,8	102,0		

Cidade	Pacatuba	Palhano	Pindoretama	Poranga	Quixadá	Russas	Salitre	S.J. do Jaguaribe	Sobral	Tabuleiro do Norte	Tauá	Itiaba	Alcântaras	Antonina do Norte	Aquiraz	Aracati	Ararendá
Paramoti	107,1	207,1	145,3	268,9	139,9	217,1	442,5	268,9	193,9	264,9	266,4	379,5	228,9	412,0	128,3	219,1	255,9
Pedra Branca	255,1	289,1	280,1	183,2	129,1	259,1	279,8	258,1	293,4	254,1	103,7	216,8	328,4	228,7	285,8	316,1	170,2
Penaforte	531,7	427,7	534,7	554,9	460,7	397,7	289,0	362,7	665,1	353,7	408,4	295,3	700,1	231,0	551,7	480,7	541,9
Pentecoste	121,5	250,4	149,8	307,5	247,5	260,4	594,8	313,4	158,5	309,4	418,7	531,8	193,5	564,3	132,8	248,8	294,5
Pereiro	315,0	211,0	318,0	403,2	244,0	181,0	319,7	146,0	494,0	137,0	302,0	246,0	529,0	235,7	335,0	264,0	390,2
Pindoretama	63,4	140,0	0,0	388,4	151,0	150,0	558,8	203,0	290,0	199,0	383,1	485,1	332,0	474,8	17,0	99,0	375,4
Piquet Carneiro	300,1	325,0	325,1	262,2	174,1	295,0	269,7	293,0	372,4	284,0	130,0	196,0	407,4	185,7	310,4	361,1	249,2
Pires Ferreira	289,2	389,2	327,4	85,7	264,0	394,0	443,0	393,0	78,9	389,0	266,9	380,0	113,9	444,3	310,4	401,2	72,7
Poranga	350,2	450,2	388,4	0,0	312,3	442,3	383,3	441,3	158,6	437,0	207,2	320,3	193,6	384,6	371,4	462,2	13,0
Porteiras	507,7	403,7	510,7	530,0	436,7	373,7	265,0	338,7	641,1	329,7	384,4	271,3	676,1	207,0	527,7	456,7	517,9
Potengi	508,8	451,7	533,8	410,3	382,8	421,7	81,0	386,7	542,9	377,7	203,1	123,3	577,9	59,0	550,8	504,7	397,3
Potiretama	263,1	150,1	266,1	473,3	192,1	120,1	432,8	85,1	442,1	76,1	372,1	359,1	477,1	348,8	283,1	203,1	460,3
Quiterianópolis	417,7	453,0	453,1	157,2	302,1	423,0	246,1	421,0	289,8	412,0	70,0	183,1	324,8	247,4	438,9	489,1	144,2
Quixadá	126,0	160,0	151,0	321,3	0,0	130,0	407,8	129,0	250,0	125,0	232,1	334,1	285,0	323,8	168,0	187,0	299,3
Quixelô	360,1	319,0	385,1	322,2	234,1	289,0	205,7	254,0	432,4	245,0	190,0	132,0	267,4	121,7	402,1	372,0	309,2
Quixeramobim	174,1	208,1	199,1	264,2	48,1	178,1	359,7	177,1	278,3	173,1	184,0	286,0	313,3	275,7	216,1	235,1	251,2
Quixeré	199,0	86,0	202,0	440,3	128,0	56,0	436,7	47,0	378,0	43,0	351,0	363,0	413,0	352,7	219,0	139,0	427,3
Redenção	31,0	117,0	85,0	337,2	95,0	127,0	502,8	180,0	262,2	176,0	327,1	429,1	297,2	418,8	77,4	129,0	324,2
Reriutaba	281,2	381,2	319,4	103,7	256,0	386,0	461,0	385,0	58,9	381,0	284,9	398,0	93,9	462,3	302,4	393,2	90,7
Russas	147,0	30,0	150,0	442,3	130,0	0,0	446,7	57,0	380,0	53,0	353,0	373,0	415,0	362,7	167,0	83,0	429,3
Saboeiro	430,8	373,7	455,8	349,6	304,8	343,7	119,0	308,7	482,2	299,7	142,4	29,3	517,2	35,0	472,8	426,7	336,6
Salitre	523,8	476,7	558,8	383,3	407,8	446,7	446,1	411,7	515,9	402,7	176,1	119,0	550,9	84,0	545,0	529,7	370,3
Santana do Acaraú	267,5	396,4	295,8	197,6	277,0	406,4	554,9	406,0	39,0	402,0	378,8	491,9	74,0	549,1	278,8	394,8	184,6
Santana do Cariri	527,8	463,0	552,8	462,6	401,8	433,0	136,0	398,0	595,2	389,0	255,4	142,3	630,2	78,0	569,8	516,0	449,6
Santa Quitéria	225,2	325,2	263,4	125,0	200,0	330,0	446,1	329,0	93,0	325,0	270,0	383,1	128,0	447,4	246,4	337,2	112,0
São Benedicto	327,8	427,8	366,0	114,6	302,6	432,6	471,9	431,6	82,1	427,6	295,8	408,9	97,9	473,2	349,0	439,8	101,6
São Gonçalo do Amarante	79,1	207,8	107,2	348,7	205,1	217,8	557,9	270,8	199,7	266,8	381,8	494,9	234,7	527,4	90,2	206,2	335,7
São João do Jaguaribe	200,0	87,0	203,0	441,3	129,0	57,0	411,7	0,0	379,0	18,0	351,0	338,0	414,0	327,7	220,0	140,0	428,3
São Luís do Curu	114,0	242,9	142,3	303,7	240,0	252,9	587,3	305,9	154,7	301,9	411,2	524,3	189,7	556,8	125,3	241,3	290,7
Senador Pompeu	243,1	251,0	268,1	233,2	117,1	221,0	307,7	219,0	343,4	210,0	132,0	234,0	378,4	223,7	285,1	304,0	220,2
Senador Sá	315,7	422,2	344,0	205,6	297,0	427,0	562,9	426,0	47,0	422,0	386,8	499,9	67,0	564,2	327,0	434,2	192,6
Sobral	268,7	375,2	297,0	158,6	250,0	380,0	515,9	379,0	0,0	375,0	339,8	452,9	35,0	517,2	280,0	387,2	145,6
Solonópole	262,0	197,0	265,0	287,2	171,1	167,0	319,7	165,0	397,4	156,0	186,0	246,0	432,4	235,7	282,0	250,0	274,2
Tabuleiro do Norte	196,0	83,0	199,0	437,3	125,0	53,0	402,7	18,0	375,0	0,0	342,0	329,0	410,0	318,7	216,0	136,0	424,3
Tamboril	291,2	391,2	329,4	88,0	266,0	396,0	380,1	395,0	159,0	391,0	204,0	317,1	194,0	381,4	312,4	403,2	75,0
Tarrafas	426,1	369,0	451,1	388,2	300,1	339,0	146,4	304,0	498,4	295,0	185,8	72,7	533,4	62,4	468,1	422,0	375,2
Tauá	347,7	383,0	383,1	207,2	232,1	353,0	176,1	351,0	339,8	342,0	0,0	113,1	374,8	177,4	368,9	419,1	194,2
Tejuçuoca	178,1	307,0	206,4	303,6	304,1	317,0	624,7	370,0	154,6	366,0	448,6	561,7	189,6	607,7	189,4	305,4	290,6
Tianguá	354,2	460,7	382,5	153,8	335,5	465,5	511,1	464,5	85,5	460,5	335,0	448,1	58,7	512,4	365,5	472,7	140,8
Trairi	143,5	272,2	171,6	343,3	269,5	282,2	622,3	335,2	194,3	331,2	446,2	559,3	229,3	591,8	154,6	270,6	330,3
Turuçu	143,3	272,2	171,6	282,3	269,3	282,2	603,4	335,2	133,3	331,2	427,3	540,4	168,3	586,1	154,6	270,6	269,3
Ubajara	347,7	450,9	376,0	137,7	325,7	455,7	495,0	454,7	79,0	450,7	318,9	432,0	74,8	496,3	359,0	462,9	124,7
Umari	389,7	285,7	392,7	412,9	318,7	255,7	280,4	220,7	523,1	211,7	280,7	206,7	558,1	196,4	409,7	338,7	399,9
Umirim	127,9	256,8	156,2	289,8	253,9	266,8	601,2	319,8	140,8	315,8	425,1	538,2	175,8	570,7	139,2	255,2	276,8
Uruburetama	145,7	274,6	174,0	274,3	271,7	284,6	595,4	337,6	125,3	333,6	419,3	532,4	160,3	578,4	157,0	273,0	261,3
Uruoca	328,7	435,2	357,0	218,6	310,0	440,0	575,9	439,0	60,0	435,0	399,8	512,9	80,0	577,2	340,0	442,2	205,6
Varjota	268,2	368,2	306,4	100,7	243,0	373,0	458,0	372,0	57,9	368,0	281,9	395,0	92,9	459,3	289,4	380,2	87,7
Varzea Alegre	414,1	332,0	439,0	376,2	288,1	302,0	241,0	267,0	486,4	258,0	244,0	170,0	521,4	159,7	456,0	385,0	363,2
Viçosa do Ceará	384,2	490,7	412,5	183,8	365,5	495,5	541,1	494,5	115,5	490,5	365,0	478,1	88,7	542,4	395,5	502,7	170,8
Abaiara	485,7	381,7	488,7	508,9	414,7	351,7	228,0	316,7	619,1	307,7	347,4	234,3	654,1	170,0	505,7	434,7	495,9
Acaraú	273,5	402,4	301,8	269,6	349,0	412,4	626,9	465,4	111,0	461,4	450,8	563,9	138,2	621,1	284,8	400,8	256,6
Acarape	29,0	115,0	83,0	335,2	97,0	125,0	504,8	178,0	260,2	174,0	329,1	431,1	295,2	420,8	75,4	127,0	322,2
Acopiara	313,1	334,0	338,1	275,2	187,1	304,0	220,7	269,0	385,4	260,0	143,0	147,0	420,4	136,7	355,1	374,1	262,2
Aiuaba	460,1	403,0	485,1	320,3	334,1	373,0	119,0	338,0	452,9	329,0	113,1	0,0	487,9	64,3	482,0	456,0	307,3
Alcântaras	303,7	410,2	332,0	193,6	285,0	415,0	550,9	414,0	35,0	410,0	374,8	487,9	0,0	552,2	315,0	422,2	180,6
Altaneira	527,8	463,0	552,8	462,6	401,8	433,0	136,0	398,0	595,2	389,0	255,4	142,3	630,2	78,0	569,8	516,0	449,6
Alto Santo	228,0	115,0	231,0	438,2	157,0	85,0	397,7	50,0	407,0	41,0	337,0	324,0	442,0	313,7	248,0	168,0	425,2
Amontada	198,7	327,6	227,0	266,4	324,7	337,6	623,7	390,6	107,8	386,6	447,6	560,7	142,8	617,9	210,0	326,0	253,4
Antonina do Norte	449,8	392,7	474,8	384,6	323,8	362,7	84,0	327,7	517,2	318,7	177,4	64,3	552,2	0,0	491,8	445,7	371,6
Apuiarés	146,5	275,4	174,8	332,5	272,5	285,4	619,8	338,4	183,5	334,4	443,7	556,8	218,5	589,3	157,8	273,8	319,5
Aquiraz	46,4	157,0	17,0	371,4	168,0	167,0	545,0	220,0	280,0	216,0	368,9	482,0	315,0	491,8	0,0	116,0	358,4
Aracati	144,0	77,0	99,0	462,2	187,0	83,0	529,7	140,0	387,2	136,0	419,1	456,0	422,2	445,7	116,0	0,0	449,2
Aracoiaba	51,0	137,0	105,0	357,2	75,0	147,0	482,8	200,0	282,2	196,0	307,1	409,1	317,2	398,8	97,4	149,0	344,2
Ararendá	337,2	437,2	375,4	13,0	299,3	429,3	370,3	428,3	145,6	424,3	194,2	307,3	180,6	371,6	358,4	449,2	0,0
Araripe	529,0	472,7	554,8	389,3	403,8	442,7	60,0	407,7	521,9	398,7	182,1	125,0	556,9	80,0	551,0	525,7	376,3
Aratuba	102,0	188,0	156,0	384,2	120,0	198,0	527,8	249,0	309,2	245,0	352,1	454,1	344,2	443,8	145,2	200,0	371,2
Arneiroz	392,7	428,0	428,1	252,2	277,1	398,0	221,1	396,0	384,8	387,0	45,0	158,1	419,8	222,4	413,9		

ANEXO 5 - SOLUÇÃO PARA O MODELO INICIAL (CENÁRIO 1)

F.O.= R\$ 467.734,51
Tabela de movimentação de pneus inservíveis

Ecopontos Cidade	Caucaia	Eusébio	Horizonte	Maracanau	Maranguape	Pacatuba	Aquitraz
Barbalha	0	2486	0	0	0	0	0
Barreira	0	0	0	0	0	980	0
Barro	0	0	632	0	0	0	0
Barroquinha	219	0	0	0	0	0	0
Baturité	0	0	0	551	0	1098	0
Beberibe	0	0	0	0	0	0	1681
Bela Cruz	0	0	0	1104	0	0	0
Boa Viagem	0	0	0	0	3510	0	0
Brejo Santo	0	0	2735	0	0	0	0
Camocim	2221	0	0	0	0	0	0
Campos Sales	0	0	0	933	915	0	0
Canindé	0	0	0	0	3866	0	0
Capistrano	0	0	0	0	0	526	0
Caridade	0	0	0	503	0	0	0
Cariré	0	0	0	704	0	0	0
Caririáçu	0	0	897	0	0	0	0
Cariús	0	0	0	0	0	588	0
Carnaubal	0	0	0	542	0	0	0
Cascavel	0	0	0	0	0	0	2773
Catarina	0	0	0	0	0	398	0
Catunda	0	0	0	297	0	0	0
Caucaia	11739	0	0	0	0	0	0
Cedro	0	0	1355	0	0	0	0
Chaval	0	0	0	186	0	0	0
Choró	0	0	0	331	0	0	0
Chorozinho	0	0	939	0	0	0	0
Coreaú	0	0	0	772	0	0	0
Crateús	0	0	0	0	6040	0	0
Crato	0	0	0	0	0	9041	0
Croatá	0	0	0	569	0	0	0
Cruz	1141	0	0	0	0	0	0
Dep. Irapuan Pinheiro	0	0	397	0	0	0	0
Ererê	0	0	67	0	0	0	0
Eusébio	0	2723	0	0	0	0	0
Farias Brito	0	0	0	0	0	676	0
Forquilha	0	0	0	987	0	0	0
Fortim	0	0	0	0	0	0	438
Frecheirinha	0	0	0	630	0	0	0
General Sampaio	0	0	0	176	0	0	0
Graça	0	0	0	483	0	0	0
Granja	0	0	0	109	0	0	0
Granjeiro	0	0	43	0	0	0	0
Groaíras	0	0	0	839	0	0	0
Guaiúba	0	0	0	0	0	472	0
Guaraciaba do Norte	0	0	0	0	2546	0	0
Guaramiranga	0	0	0	245	0	0	0
Hidrolândia	0	0	0	853	0	0	0
Horizonte	0	0	2437	0	0	0	0
Ibaretama	0	0	388	0	0	0	0
Ibiapina	0	0	0	994	0	0	0
Ibicuitinga	0	0	356	0	0	0	0
Icapuí	0	0	0	0	0	0	791
Icó	0	0	3429	0	0	0	0
Iguatu	0	0	0	0	0	8373	0
Independência	0	0	0	0	2056	0	0
Ipaporanga	0	0	0	577	0	0	0
Ipauimirim	0	0	2114	0	0	0	0
Ipu	0	0	0	0	2502	0	0
Ipueiras	0	0	0	0	1664	0	0
Iracema	0	0	853	0	0	0	0
Irauçuba	0	0	0	566	0	0	0
Itaíba	0	0	0	0	0	0	393
Itaitinga	0	1108	0	0	0	0	0
Itapagé	0	0	0	2482	0	0	0
Itapipoca	5955	0	0	0	0	0	0
Itapiúna	0	0	0	0	0	548	0
Itarema	0	0	0	1001	0	0	0
Itatira	0	0	0	498	0	0	0
Jaguaratama	0	0	878	0	0	0	0
Jaguaribara	0	0	624	0	0	0	0
Jaguaribe	0	0	2301	0	0	0	0
Jaguaruana	0	0	1585	0	0	0	0
Jardim	0	0	915	0	0	0	0
Jati	0	0	209	0	0	0	0
Jijoca de Jericoá	0	0	0	737	0	0	0
Juazeiro do Norte	0	8091	10240	0	0	0	0
Jucás	0	0	0	0	0	819	0
Lavras da Mangabeira	0	0	842	0	0	0	0
Limoeiro do Norte	0	5870	0	0	0	0	0
Madalena	0	0	0	513	0	0	0
Maracana-	0	0	0	9929	0	0	0
Maranguape	0	0	0	0	3773	0	0
Marco	0	0	0	1042	0	0	0
Martãopole	0	0	0	198	0	0	0
Massapê	0	0	0	1108	0	0	0
Mauriti	0	1022	0	0	0	0	0

Meruoca	0	0	0	426	0	0	0
Milagres	0	0	894	0	0	0	0
Milha	0	800	0	0	0	0	0
Miraima	0	0	0	315	0	0	0
Missão Velha	0	0	1012	0	0	0	0
Mombaça	0	0	0	0	0	1785	0
Monsenhor Tabosa	0	0	0	636	0	0	0
Morada Nova	0	0	3678	0	0	0	0
Moraújo	0	0	0	200	0	0	0
Morrinhos	0	0	0	596	0	0	0
Mucambo	0	0	0	727	0	0	0
Mulungu	0	0	0	274	0	0	0
Nova Olinda	0	0	0	0	0	561	0
Nova Russas	0	0	0	0	2455	0	0
Novo Oriente	0	0	0	0	1773	0	0
Ocara	0	0	1004	0	0	0	0
Orós	0	0	709	0	0	0	0
Pacajus	0	3658	0	0	0	0	0
Pacatuba	0	0	0	0	0	1517	0
Pacoti	0	0	0	471	0	0	0
Pacujá	0	0	0	350	0	0	0
Palhano	0	0	536	0	0	0	0
Palmácia	0	0	0	283	0	0	0
Paracuru	0	1103	0	0	0	0	0
Paraipaba	0	1191	0	0	0	0	0
Parambu	0	0	0	0	1796	0	0
Paramoti	0	0	0	385	0	0	0
Pedra Branca	0	0	0	0	1940	0	0
Penaforte	0	0	239	0	0	0	0
Pentecoste	0	0	0	1626	0	0	0
Pereiro	0	1118	0	0	0	0	660
Pindoretama	0	0	0	0	0	0	433
Piquet Carneiro	0	0	0	0	0	0	0
Pires Ferreira	0	0	0	328	0	0	0
Poranga	0	0	0	347	0	0	0
Porteiras	0	0	401	0	0	0	0
Potengi	0	0	0	305	0	0	0
Potiretama	0	0	218	0	0	0	0
Quiterianópolis	0	0	0	0	992	0	0
Quixadá	0	0	0	0	0	5319	0
Quixelô	0	0	0	0	0	664	0
Quixeramobim	0	0	0	0	0	3888	0
Quixeré	0	0	1449	0	0	0	0
Redenção	0	0	0	0	0	1126	0
Reriutaba	0	0	0	968	0	0	0
Russas	0	5413	0	0	0	0	0
Saboeiro	0	0	0	0	0	456	0
Salitre	0	0	0	251	0	0	0
Santana do Acarajú	0	0	0	1115	0	0	0
Santana do Cariri	0	0	0	0	0	475	0
Santa Quitéria	0	0	0	0	2430	0	0
São Benedito	0	0	0	0	2788	0	0
São Gonçalo do Amara	0	1428	0	0	0	0	0
São João do Jaguaribe	0	0	737	0	0	0	0
São Luís do Curu	0	0	0	453	0	0	0
Senador Pompeu	0	0	0	0	0	1359	0
Senador Sá	0	0	0	191	0	0	0
Sobral	15781	648	0	140	0	0	0
Solonópole	0	0	929	0	0	0	0
Tabuleiro do Norte	0	3445	0	0	0	0	0
Tamboril	0	0	0	1120	0	0	0
Tarrafas	0	0	0	241	0	0	0
Tauá	0	0	0	0	4444	0	0
Tejuçuoca	0	0	0	399	0	0	0
Tianguá	5639	0	0	0	0	0	0
Trairi	0	1275	0	0	0	0	0
Tururu	0	0	0	455	0	0	0
Ubajara	1633	0	0	0	0	0	0
Umari	0	0	136	0	0	0	0
Umirim	0	0	0	483	0	0	0
Uruburetama	694	0	0	0	0	0	0
Uruoca	0	0	0	381	0	0	0
Varjota	0	0	0	0	1383	0	0
Varzea Alegre	0	0	0	0	0	1939	0
Viçosa do Ceará	0	0	0	2040	0	0	0
Abaiara	0	0	251	0	0	0	0
Acarajú	1904	0	0	0	0	0	0
Acarape	0	0	0	0	0	475	0
Acopiara	0	0	0	0	0	2238	0
Aiuaba	0	0	0	0	398	0	0
Alcântaras	0	0	0	553	0	0	0
Altaneira	0	0	0	0	0	250	0
Alto Santo	0	0	710	0	0	0	0
Amontada	1074	0	0	0	0	0	0
Antonina do Norte	0	0	0	286	0	0	0
Apuiarés	0	495	0	0	0	0	0
Aquiraz	0	0	0	0	0	0	2733
Aracati	0	0	0	0	0	0	3771
Aracoiaba	0	0	0	0	0	924	0
Ararendá	0	0	0	483	0	0	0
Araripe	0	0	0	0	729	0	0
Aratuba	0	0	0	388	0	0	0
Arneiroz	0	0	0	325	0	0	0
Assaré	0	0	0	0	0	912	0
Aurora	0	0	655	0	0	0	0
Baixio	0	0	206	0	0	0	0
Banabuiú	0	0	0	0	0	593	0

ANEXO 6 – SOLUÇÃO PARA O MODELO COM 75% DE CAPACIDADE (CENÁRIO 2)

F.O.= R\$ 463.486,88

Tabela de movimentação de pneus inservíveis

Ecoponto Cidade	Caucaia	Eusebio	Horizonte	Maracanaú	Maranguape	Morada Nova	Pacatuba	Quixadá	Aquiraz
Barbalha	0	0	2486	0	0	0	0	0	0
Barreira	0	0	0	0	0	0	980	0	0
Barro	0	0	632	0	0	0	0	0	0
Barroquinha	0	0	0	219	0	0	0	0	0
Baturité	0	0	0	0	0	0	1649	0	0
Beberibe	0	1681	0	0	0	0	0	0	0
Bela Cruz	0	0	0	1104	0	0	0	0	0
Boa Viagem	0	0	0	3510	0	0	0	0	0
Brejo Santo	0	0	0	0	0	2735	0	0	0
Camocim	0	0	0	2221	0	0	0	0	0
Campos Sales	0	0	0	0	1848	0	0	0	0
Canindé	0	0	0	0	0	0	3866	0	0
Capistrano	0	0	0	0	0	0	526	0	0
Caridade	0	0	0	0	503	0	0	0	0
Cariré	0	0	0	0	0	0	704	0	0
Caririaçu	0	0	0	0	0	0	0	897	0
Cariús	0	0	0	0	0	0	0	588	0
Carnaubal	0	0	0	0	0	0	542	0	0
Cascavel	0	2773	0	0	0	0	0	0	0
Catarina	0	0	0	0	0	0	0	398	0
Catunda	0	0	0	0	297	0	0	0	0
Caucaia	5129	6610	0	0	0	0	0	0	0
Cedro	0	0	0	0	0	1355	0	0	0
Chaval	0	0	0	186	0	0	0	0	0
Choró	0	0	0	0	0	0	331	0	0
Chorozinho	0	0	939	0	0	0	0	0	0
Coreaú	0	0	0	772	0	0	0	0	0
Crateús	0	0	0	0	6040	0	0	0	0
Crato	0	0	0	0	0	0	3006	6035	0
Croatá	0	0	0	0	0	0	569	0	0
Cruz	0	0	0	1141	0	0	0	0	0
Dep. Irapuan Pinhei	0	0	0	0	0	0	397	0	0
Ererê	0	0	67	0	0	0	0	0	0
Eusebio	0	2723	0	0	0	0	0	0	0
Farias Brito	0	0	0	0	0	0	0	676	0
Forquilha	0	0	0	987	0	0	0	0	0
Fortim	0	438	0	0	0	0	0	0	0
Frecheirinha	0	0	0	630	0	0	0	0	0
General Sampaio	0	0	0	176	0	0	0	0	0
Graça	0	0	0	483	0	0	0	0	0
Granja	0	0	0	109	0	0	0	0	0
Granjeiro	0	0	0	0	0	43	0	0	0
Groaíras	0	0	0	839	0	0	0	0	0
Guaiúba	0	0	0	0	0	0	472	0	0
Guaraciaba do Nort	0	0	0	0	2546	0	0	0	0
Guaramiranga	0	0	0	0	0	0	245	0	0
Hidrolândia	0	0	0	853	0	0	0	0	0
Horizonte	0	0	2437	0	0	0	0	0	0
Ibaretama	0	0	388	0	0	0	0	0	0
Ibiapina	949	0	0	45	0	0	0	0	0
Ibicuitinga	0	0	356	0	0	0	0	0	0
Icapuí	0	791	0	0	0	0	0	0	0
Icó	0	0	2430	0	0	999	0	0	0
Iguatu	0	0	0	0	0	0	0	8373	0
Independência	0	0	0	0	1389	0	667	0	0
Ipaporanga	0	0	0	0	577	0	0	0	0
Ipaumirim	0	0	0	0	0	2114	0	0	0
Ipu	0	0	0	2502	0	0	0	0	0
Ipueiras	0	0	0	0	1664	0	0	0	0
Iracema	0	0	853	0	0	0	0	0	0
Irauçuba	0	566	0	0	0	0	0	0	0
Itaipaba	0	10	0	0	0	0	0	0	383
Itaitinga	0	0	0	0	0	0	1108	0	0
Itapagé	0	2482	0	0	0	0	0	0	0
Itapipoca	5955	0	0	0	0	0	0	0	0
Itapiúna	0	0	0	0	0	0	548	0	0
Itarema	0	1001	0	0	0	0	0	0	0
Itatira	0	0	0	0	498	0	0	0	0
Jaguaretama	0	0	0	0	0	878	0	0	0
Jaguaribara	0	0	624	0	0	0	0	0	0
Jaguaribe	0	0	2301	0	0	0	0	0	0
Jaguaruana	0	0	1585	0	0	0	0	0	0
Jardim	0	0	0	0	0	915	0	0	0
Jati	0	0	209	0	0	0	0	0	0
Jijoca de Jericoa	0	737	0	0	0	0	0	0	0
Juazeiro do Norte	0	0	0	0	0	10284	8047	0	0
Jucás	0	0	0	0	0	0	819	0	0
Lavras da Mangabei	0	0	0	0	0	842	0	0	0
Limoeiro do Norte	0	0	5870	0	0	0	0	0	0
Madalena	0	0	0	0	513	0	0	0	0
Maracana	0	0	0	9929	0	0	0	0	0
Maranguape	0	0	0	3773	0	0	0	0	0
Marco	1042	0	0	0	0	0	0	0	0
Martãopole	0	0	0	198	0	0	0	0	0

Mauriti	0	0	0	0	0	0	0	1022	0	0	0
Meruoca	0	426	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Milagres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Milhá	0	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0
Mirafina	0	315	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Missão Velha	0	0	0	0	0	0	0	1012	0	0	0
Mombaça	0	0	0	0	0	0	1785	0	0	0	0
Monsenhor Tabosa	0	0	0	636	0	0	0	0	0	0	0
Morada Nova	0	0	3678	0	0	0	0	0	0	0	0
Moraújo	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morrinhos	0	596	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mucambo	0	727	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mulungu	0	0	0	0	0	274	0	0	0	0	0
Nova Olinda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	561	0
Nova Russas	0	0	0	0	2455	0	0	0	0	0	0
Novo Oriente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1773	0
Ocara	0	0	1004	0	0	0	0	0	0	0	0
Orós	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pacajus	0	0	3658	0	0	0	0	0	0	0	0
Pacatuba	0	0	0	0	0	1517	0	0	0	0	0
Pacoti	0	0	0	0	0	471	0	0	0	0	0
Pacujá	0	350	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Palhano	0	0	536	0	0	0	0	0	0	0	0
Palmácia	0	0	0	0	0	283	0	0	0	0	0
Paracuru	0	1103	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Paraipaba	0	1191	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parambu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1796	0
Paramoti	0	0	0	0	385	0	0	0	0	0	0
Pedra Branca	0	0	0	0	0	0	1940	0	0	0	0
Penaforte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pentecoste	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1626
Pereiro	0	0	0	0	0	0	0	1118	0	0	0
Pindoretama	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	660
Piquet Carneiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	433
Pires Ferreira	0	0	0	0	328	0	0	0	0	0	0
Poranga	0	0	0	0	347	0	0	0	0	0	0
Porteiras	0	0	0	0	0	0	0	401	0	0	0
Potengi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	305	0
Potiretama	0	0	0	0	0	0	0	218	0	0	0
Quiterianópolis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	992	0
Quixadá	0	0	0	0	0	5319	0	0	0	0	0
Quixeló	0	0	0	0	0	0	664	0	0	0	0
Quixeramobim	0	0	0	0	0	3888	0	0	0	0	0
Quixeré	0	0	0	0	0	0	0	1449	0	0	0
Redenção	0	0	0	0	0	1126	0	0	0	0	0
Reriutaba	0	0	0	0	968	0	0	0	0	0	0
Russas	0	0	0	0	0	0	0	5413	0	0	0
Saboeiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	456	0
Salitre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	251	0
Santana do Acaraú	0	1115	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Santana do Cariri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	475	0
Santa Quitéria	0	0	0	2430	0	0	0	0	0	0	0
São Benedito	0	0	0	0	2788	0	0	0	0	0	0
São Gonçalo d Amarant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1428
São João do Jaguaribe	0	0	0	0	0	0	0	737	0	0	0
São Luís do Curu	0	453	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Senador Pompeu	0	0	0	0	0	0	1359	0	0	0	0
Senador Sá	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191
Sobral	0	0	0	0	0	0	0	0	16569	0	0
Solonópole	0	0	929	0	0	0	0	0	0	0	0
Tabuleiro do Norte	0	0	0	0	0	0	0	3445	0	0	0
Tamboril	0	0	0	0	1120	0	0	0	0	0	0
Tarafas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	241	0
Tauá	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4444	0
Tejuçuoca	0	399	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tianguá	801	0	0	0	0	0	0	0	4838	0	0
Trairi	0	1275	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tururu	0	455	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ubajara	1633	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Umari	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Umirim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	483
Uruburetama	694	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uruoca	0	381	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Varjota	0	0	0	0	1383	0	0	0	0	0	0
Varzea Alegre	0	0	0	0	0	0	1939	0	0	0	0
Viçosa do Ceará	0	0	0	0	0	0	0	0	2040	0	0
Abaiara	0	0	0	0	0	0	0	251	0	0	0
Acaraú	1904	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acarape	0	0	0	0	0	475	0	0	0	0	0
Acopiara	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aiuaba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	398	0
Alcântaras	0	0	0	0	0	0	0	0	553	0	0
Altaneira	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0
Alto Santo	0	0	0	0	0	0	0	710	0	0	0
Amontada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1074
Antonina do Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	286	0
Apuiarés	495	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aquiraz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2733
Aracati	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3771
Aracoiaaba	0	0	0	0	0	924	0	0	0	0	0
Ararendá	0	0	0	0	483	0	0	0	0	0	0
Araripe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	729	0
Aratuba	0	0	0	0	0	388	0	0	0	0	0
Arneiroz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	325	0
Assaré	0	0	0	0	0	0	0	0	0	912	0
Aurora	0	0	0	0	0	0	0	655	0	0	0
Baixio	0	0	141	0	0	0	0	0	65	0	0
Banabuiú	0	0	0	0	0	0	593	0	0	0	0

ANEXO 8 – SOLUÇÃO PARA O MODELO LIMITAÇÃO DA DISTÂNCIA (CENÁRIO 4)

F.O.= R\$ 639.888,19

Tabela de movimentação de pneus inservíveis

Ecoponto Cidade	Campos Sales	Cascavel	Caucaia	Granja	Horizonte	Mauriti	Quixadá	Tabuleiro do Norte	Ararendá
Barbalha	0	0	0	0	0	2486	0	0	0
Barreira	0	0	0	0	980	0	0	0	0
Barro	0	0	0	0	0	0	0	632	0
Barroquinha	0	0	0	219	0	0	0	0	0
Baturité	0	1649	0	0	0	0	0	0	0
Beberibe	0	1681	0	0	0	0	0	0	0
Bela Cruz	0	0	1104	0	0	0	0	0	0
Boa Viagem	0	0	0	0	0	0	3510	0	0
Brejo Santo	0	0	0	0	0	2735	0	0	0
Camocim	0	0	0	2221	0	0	0	0	0
Campos Sales	1848	0	0	0	0	0	0	0	0
Canindé	0	0	0	0	3866	0	0	0	0
Capistrano	0	342	0	0	184	0	0	0	0
Caridade	0	0	0	0	503	0	0	0	0
Cariré	0	0	0	0	0	0	704	0	0
Caririaçu	0	0	0	0	0	897	0	0	0
Cariús	0	0	0	0	0	0	588	0	0
Carnaubal	0	0	0	0	0	0	0	0	542
Cascavel	0	2773	0	0	0	0	0	0	0
Catarina	0	0	0	0	0	0	398	0	0
Catunda	0	0	0	0	0	0	297	0	0
Caucaia	0	0	9942	0	1797	0	0	0	0
Cedro	0	0	0	0	0	0	0	1355	0
Chaval	0	0	0	186	0	0	0	0	0
Choró	0	0	0	0	331	0	0	0	0
Chorozinho	0	837	0	0	102	0	0	0	0
Coreaú	0	0	0	772	0	0	0	0	0
Cratéis	0	0	0	0	0	0	0	0	6040
Crato	0	0	0	0	0	9041	0	0	0
Croatá	0	0	0	0	0	0	0	0	569
Cruz	0	0	1141	0	0	0	0	0	0
Dep. Irapuan Pinheiro	0	0	0	0	0	0	397	0	0
Ereré	0	0	0	0	0	0	67	0	0
Eusébio	0	2723	0	0	0	0	0	0	0
Farias Brito	0	0	0	0	0	676	0	0	0
Forquilha	0	0	987	0	0	0	0	0	0
Fortim	0	438	0	0	0	0	0	0	0
Frecheirinha	0	0	0	630	0	0	0	0	0
General Sampaio	0	0	176	0	0	0	0	0	0
Graça	0	0	0	0	0	0	0	0	483
Granja	0	0	0	109	0	0	0	0	0
Granjeiro	0	0	0	0	0	43	0	0	0
Groaíras	0	0	839	0	0	0	0	0	0
Guaituba	0	0	0	0	472	0	0	0	0
Guaraciaba do Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	2546
Guaramiranga	0	245	0	0	0	0	0	0	0
Hidrolândia	0	0	0	0	0	0	853	0	0
Horizonte	0	0	0	0	2437	0	0	0	0
Ibaretama	0	0	0	0	0	0	388	0	0
Ibiapina	0	0	0	0	0	0	0	0	994
Ibicutinga	0	0	0	0	0	0	356	0	0
Icapuí	0	791	0	0	0	0	0	0	0
Icó	0	0	0	0	0	0	0	3429	0
Iguatu	0	0	0	0	0	0	8373	0	0
Independência	0	0	0	0	0	0	2056	0	0
Ipaporanga	0	0	0	0	0	0	0	0	577
Ipauimirim	0	0	0	0	0	0	0	2114	0
Ipu	0	0	0	0	0	0	0	0	2502
Ipeúras	0	0	0	0	0	0	0	0	1664
Iracema	0	0	0	0	0	0	0	853	0
Irauçuba	0	0	357	0	209	0	0	0	0
Itaipaba	0	393	0	0	0	0	0	0	0
Itaitinga	0	0	0	0	1108	0	0	0	0
Itapagé	0	0	2482	0	0	0	0	0	0
Itapipoca	0	0	1591	0	4364	0	0	0	0
Itapituba	0	300	0	0	248	0	0	0	0
Itarema	0	0	1001	0	0	0	0	0	0
Itatira	0	0	0	0	0	0	498	0	0
Jaguaretama	0	278	0	0	600	0	0	0	0
Jaguaribara	0	0	0	0	0	0	0	624	0
Jaguaribe	0	0	0	0	0	0	0	2301	0
Jaguaruana	0	1585	0	0	0	0	0	0	0
Jardim	0	0	0	0	0	915	0	0	0
Jati	0	0	0	0	0	209	0	0	0
Jijoca de Jericoá	0	0	0	737	0	0	0	0	0
Juazeiro do Norte	0	0	0	0	0	18331	0	0	0
Jucás	0	0	0	0	0	0	819	0	0
Lavras da Mangabeira	0	0	0	0	0	0	0	842	0
Limoeiro do Norte	0	0	0	0	0	0	0	5870	0
Madalena	0	0	0	0	0	0	513	0	0
Maracana	0	0	0	0	9929	0	0	0	0
Maranguape	0	0	0	0	3773	0	0	0	0
Marco	0	0	1042	0	0	0	0	0	0
Martimópolis	0	0	0	198	0	0	0	0	0
Massapê	0	0	1108	0	0	0	0	0	0
Mauriti	0	0	0	0	0	1022	0	0	0
Meruoca	0	0	426	0	0	0	0	0	0

Milagres	0	0	0	0	0	894	0	0	0
Milhã	0	0	0	0	0	0	800	0	0
Mirafima	0	0	315	0	0	0	0	0	0
Missão Velha	0	0	0	0	0	1012	0	0	0
Mombaça	0	0	0	0	0	0	1785	0	0
Monsenhor Tabosa	0	0	0	0	0	0	0	0	636
Morada Nova	0	1358	0	0	2320	0	0	0	0
Moraujo	0	0	0	200	0	0	0	0	0
Morrinhos	0	0	366	0	230	0	0	0	0
Mucambo	0	0	0	0	0	0	0	0	727
Mulungu	0	274	0	0	0	0	0	0	0
Nova Olinda	561	0	0	0	0	0	0	0	0
Nova Russas	0	0	0	0	0	0	0	0	2455
Novo Oriente	0	0	0	0	0	0	0	0	1773
Ocara	0	891	0	0	113	0	0	0	0
Orós	0	0	0	0	0	0	0	709	0
Pacajus	0	3658	0	0	0	0	0	0	0
Pacatuba	0	0	0	0	1517	0	0	0	0
Pacoti	0	0	0	0	471	0	0	0	0
Pacujá	0	0	0	0	0	0	0	0	350
Palhano	0	345	0	0	191	0	0	0	0
Palmácia	0	0	0	0	283	0	0	0	0
Paracuru	0	0	0	0	1103	0	0	0	0
Paraipaba	0	0	0	0	1191	0	0	0	0
Parambu	0	0	0	0	0	0	0	0	1796
Paramoti	0	0	0	0	385	0	0	0	0
Pedra Branca	0	0	0	0	0	0	1940	0	0
Penaforte	0	0	0	0	0	239	0	0	0
Pentecoste	0	0	1626	0	0	0	0	0	0
Pereiro	0	0	0	0	0	0	0	1118	0
Pindoretama	0	660	0	0	0	0	0	0	0
Piquet Carneiro	0	0	0	0	0	0	433	0	0
Pires Ferreira	0	0	0	0	0	0	0	0	328
Poranga	0	0	0	0	0	0	0	0	347
Porteiras	0	0	0	0	0	401	0	0	0
Potengi	305	0	0	0	0	0	0	0	0
Potiretama	0	218	0	0	0	0	0	0	0
Quiterianópolis	0	0	0	0	0	0	0	0	992
Quixadá	0	0	0	0	0	0	5319	0	0
Quixeló	0	0	0	0	0	0	664	0	0
Quixeramobim	0	0	0	0	0	0	3888	0	0
Quixeré	0	0	0	0	0	0	0	1449	0
Redenção	0	1126	0	0	0	0	0	0	0
Reriutaba	0	0	0	0	0	0	968	0	0
Russas	0	2134	0	0	3279	0	0	0	0
Saboeiro	456	0	0	0	0	0	0	0	0
Salitre	251	0	0	0	0	0	0	0	0
Santana do Acaraú	0	0	1115	0	0	0	0	0	0
Santana do Cariri	475	0	0	0	0	0	0	0	0
Santa Quitéria	0	0	0	0	2430	0	0	0	0
São Benedito	0	0	0	0	0	0	0	0	2788
São Gonçalo do Amarante	0	0	0	0	1428	0	0	0	0
São João do Jaguaribe	0	0	0	0	0	0	0	737	0
São Luís do Curu	0	0	453	0	0	0	0	0	0
Senador Pompeu	0	0	0	0	0	0	1359	0	0
Senador Sá	0	0	0	191	0	0	0	0	0
Sobral	0	0	16569	0	0	0	0	0	0
Solonópole	0	0	0	0	0	0	929	0	0
Tabuleiro do Norte	0	0	0	0	0	0	0	3445	0
Tamboril	0	0	0	0	0	0	0	0	1120
Tarrafas	241	0	0	0	0	0	0	0	0
Tauá	0	0	0	0	0	0	4444	0	0
Tejuçuoca	0	0	399	0	0	0	0	0	0
Tianguá	0	0	0	5639	0	0	0	0	0
Trairi	0	0	0	0	1275	0	0	0	0
Tururu	0	0	455	0	0	0	0	0	0
Ubajara	0	0	0	0	0	0	0	0	1633
Umari	0	0	0	0	0	136	0	0	0
Umirim	0	0	483	0	0	0	0	0	0
Uruburetama	0	0	550	0	144	0	0	0	0
Uruoca	0	0	0	381	0	0	0	0	0
Varjota	0	0	0	0	0	0	1383	0	0
Varzea Alegre	0	0	0	0	0	0	0	1939	0
Viçosa do Ceará	0	0	0	2040	0	0	0	0	0
Abaiara	0	0	0	0	0	251	0	0	0
Acaraú	0	0	1904	0	0	0	0	0	0
Acarape	0	475	0	0	0	0	0	0	0
Acopiara	0	0	0	0	0	0	2238	0	0
Aiuaba	398	0	0	0	0	0	0	0	0
Alcântaras	0	0	0	553	0	0	0	0	0
Altaneira	250	0	0	0	0	0	0	0	0
Alto Santo	0	0	0	0	0	0	0	710	0
Amontada	0	0	1074	0	0	0	0	0	0
Antonina do Norte	286	0	0	0	0	0	0	0	0
Apuiarés	0	0	495	0	0	0	0	0	0
Aquiraz	0	2733	0	0	0	0	0	0	0
Aracati	0	3771	0	0	0	0	0	0	0
Aracoiaba	0	483	0	0	441	0	0	0	0
Ararendá	0	0	0	0	0	0	0	0	483
Araripe	729	0	0	0	0	0	0	0	0
Aratuba	0	92	0	0	296	0	0	0	0
Arneiroz	0	0	0	0	0	0	0	0	325
Assaré	912	0	0	0	0	0	0	0	0
Aurora	0	0	0	0	0	655	0	0	0
Baixio	0	0	0	0	0	0	0	206	0
Banabuiú	0	0	0	0	0	0	593	0	0

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)